6 Topografia

di *Giulio Cappa* e *Adriano Vanin* (Gruppo Grotte Milano SEM)
con la collaborazione di
Paolo Grimandi (Gruppo Speleologico Bolognese)
e *Ferruccio Cossutta* (Gruppo Speleologico Biellese)

Premessa

Tutti coloro che praticano attivamente la speleologia hanno la necessità di acquisire almeno qualche nozione di topografia. Infatti per andare in grotta il primo presupposto è... trovarla! Per far questo, ove non si disponga di un accompagnatore che c'è già stato, occorre saper leggere la carta topografica. E per valutare le difficoltà della grotta, per capire quanto materiale portare, per potervisi orizzontare, bisogna saperne leggere il rilievo topografico, che dice molte più cose di una descrizione e si comprende a colpo d'occhio.

Di più, per lo speleologo che non si accontenta di rivisitare grotte già note, ma cerca di esplorarne di nuove e vuole poter comunicare agli altri i propri risultati, è indispensabile sia saper collocare esattamente sulla carta le grotte trovate, sia saperne eseguire un buon rilievo topografico interno.

Infine, il rilievo della grotta è base indispensabile per qualsiasi successiva ricerca da compiervi; mentre lo studio di una zona fittamente costellata di fenomeni carsici costringe spesso lo speleologo a costruirsene una carta topografica a grande scala.

Fortunatamente il rilievo topografico, interno o esterno, non è un'astrusa disciplina per specialisti; è anzi un'attività facile, spesso divertente, sempre di grande soddisfazione, in quanto fornisce allo speleologo una rappresentazione vivida e tangibile dei risultati acquisiti con le sue fatiche.

Nozioni di base.[1]

La *topografia* è la scienza che insegna a rappresentare graficamente (cioè mediante disegni) la superficie della Terra. Tale rappresentazione si ottiene mediante due operazioni successive:

[1] Non si può pretendere in questo capitolo di fornire un'istruzione completa di topografia in senso lato: si presuppone che il lettore possieda già le informazioni scolastiche di base.

— il *rilevamento* del terreno, che consiste nel determinare dei punti su di esso e nel misurarne strumentalmente la posizione relativa;

— la *restituzione* del rilievo, che consiste nel tradurre il rilevamento in un'immagine grafica del terreno, ricostruito nelle sue proporzioni elaborando i dati forniti dalle misure e rappresentandone le caratteristiche mediante simboli codificati.

Poiché il terreno rilevato, che può essere tanto una parte della superficie esterna della Terra quanto la ben più complessa superficie che « avvolge » una grotta, non è piatto, la sua rappresentazione non può limitarsi a un disegno in *planimetria*, ma deve includere anche le informazioni sulla sua *altimetria.* Inoltre, poiché le grotte sono dei vuoti estesi nelle tre dimensioni, la loro rappresentazione grafica ha esigenze superiori a quelle usuali nella topografia esterna: a tale scopo questa è integrata da concetti derivati dal disegno tecnico industriale, in particolare mediante la rappresentazione di *sezioni*, verticali, orizzontali od oblique.

Scala

Si definisce *scala* di una carta o di un rilievo topografico il rapporto fra la distanza di due punti qualsiasi segnati sulla carta e la loro distanza reale. Esempio: in scala 1:100 (leggi « uno a cento ») un tratto che sul terreno è lungo un metro, sulla carta sarà un centesimo di metro, ossia un centimetro.

La scala può essere indicata sulla carta in modo *numerico* (per esempio scrivendo 1 : 25.000) oppure in modo *grafico*, tracciando un segmento campione ed esprimendone la lunghezza nella scala della carta. Questo metodo è preferibile qualora si debba procedere a riduzioni di formato della carta stessa. Infatti in tal caso la scala numerica varia del fattore di riduzione, ma la scala grafica rimane sempre valida: il disegno e il segmento campione si accorciano nel medesimo modo.

Orientazione

Tutte le carte topografiche, e quindi anche i rilievi delle grotte, devono essere corredati delle indicazioni necessarie a orientarle: sulle planimetrie si indica l'*orientazione al Nord*, sulle altimetrie gli assi *orizzontale e/o verticale*.

Mentre per questi ultimi non sussistono seri problemi di indivi-

duazione o definizione, l'orientazione al Nord merita due parole di commento. Generalmente una carta topografica è orientata al *Nord geografico*: cioè l'asse verticale della carta è nell'esatta direzione del polo Nord della Terra. Tuttavia la strumentazione disponibile al topografo per orientare la carta sul terreno è di solito una *bussola*, che si orienta non verso il Nord geografico, ma verso il *Nord magnetico*. Questo non solo non coincide col Nord geografico, ma si sposta anche lentamente nel tempo. L'angolo formato, in un dato punto della superficie terrestre, dalla direzione del Nord geografico con quella del Nord magnetico, si dice *declinazione magnetica* di quel punto.

Per quanto detto, la correzione della declinazione magnetica richiede la conoscenza del suo valore in quel punto e in quel momento. Questa può essere ricostruita per esempio, partendo dalla Carta Magnetica d'Italia, pubblicata dall'Istituto Geografico Militare in scala 1:2.000.000 (anche alcune tavolette IGM riportano tali valori per la zona rappresentata).

Le zone di *anomalia magnetica* sono zone in cui, per la natura delle rocce, la bussola non dà risultati affidabili. Fortunatamente per noi, di rado queste zone ospitano fenomeni carsici.

Sistemi di coordinate

Per determinare la posizione di un punto nello spazio, rispetto a un punto di riferimento, occorre erigere un *sistema di coordinate.*

Il sistema più semplice e intuitivo è quello delle *coordinate cartesiane*, consistente in tre *assi ortogonali* uscenti dal punto di riferimento (*origine*). Le coordinate di un punto qualunque rispetto all'origine sono date dalla lunghezza degli spostamenti, parallelamente ai tre assi, necessari per andare dall'origine al punto cercato. Si dimostra, e non è difficile convincersene, che il punto è univocamente determinato solo conoscendone *tutte e tre* le coordinate. Per fare un esempio, un sistema di coordinate cartesiane potrebbe avere l'origine in un punto preciso situato all'imboccatura di una grotta, l'asse X rivolto verso Nord, l'asse Y rivolto verso Est e l'asse Z rivolto verso lo Zenith. È questo un sistema molto conveniente nella rappresentazione grafica delle grotte (figura 1).

Non è tuttavia necessario che le coordinate di un punto siano tutte e tre delle lunghezze; un sistema di *coordinate polari* sfrutta infatti una lunghezza e due angoli. Ci si rende conto (osservando la figura 2) che i due sistemi sono equivalenti e determinano la posizione del punto altrettanto bene. L'uso dell'uno o dell'altro dipende

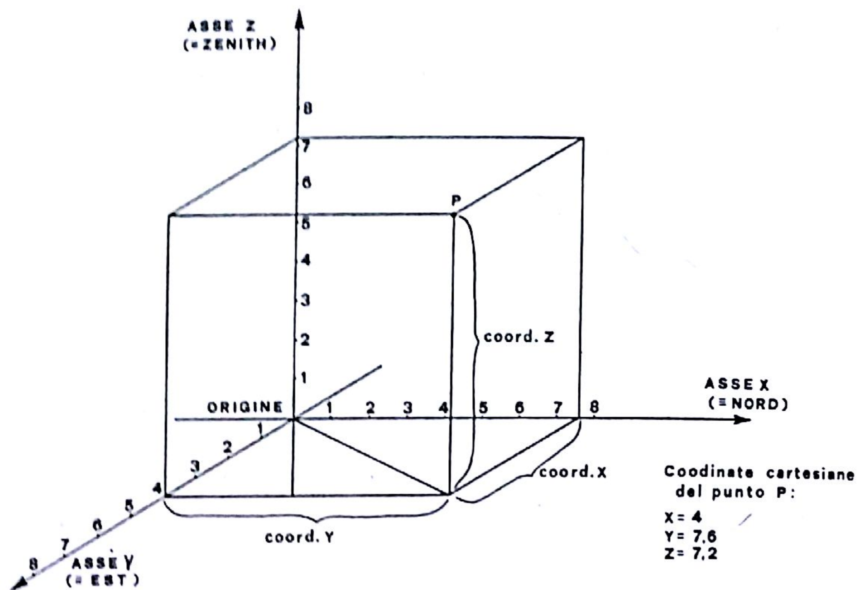


Figura 1. Coordinate cartesiane (ad uso topografico) nello spazio

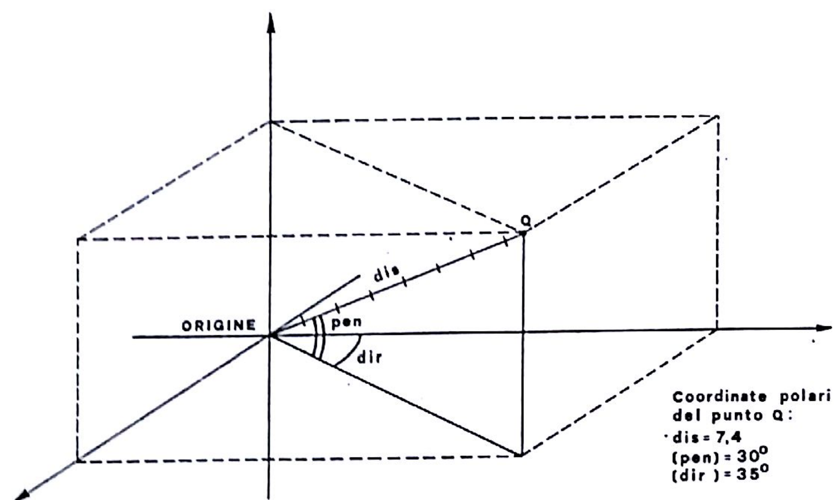


Figura 2. Coordinate polari nello spazio

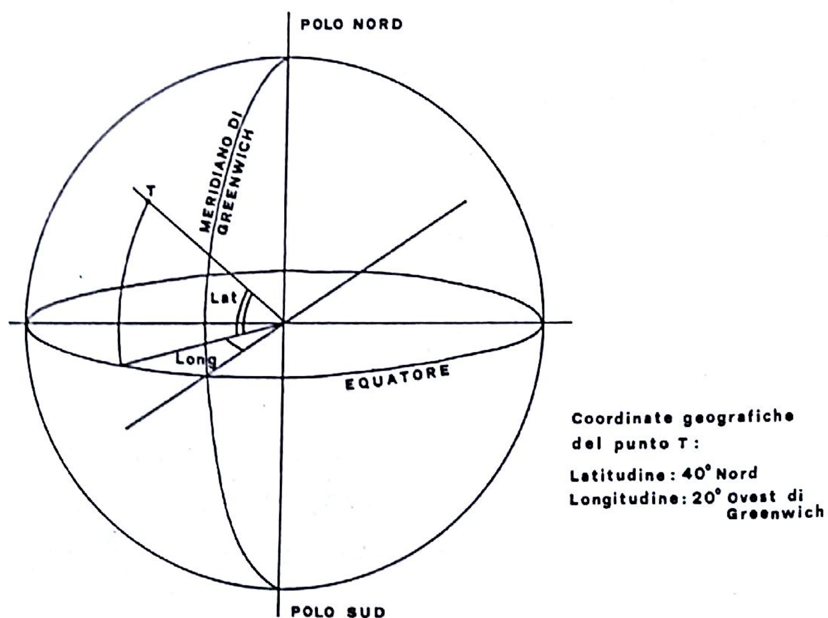


Figura 3. Coordinate geografiche

solo dalla convenienza. Anche le coordinate polari sono molto importanti nelle operazioni di rilevamento delle grotte.

Si noti infine che, se il punto cercato è vincolato a stare su una superficie chiusa, come per esempio la superficie terrestre, la sua posizione sarà conosciuta dati i soli *due angoli.*

Coordinate geografiche

Le *coordinate geografiche* servono a identificare univocamente la posizione di un punto sulla superficie della Terra. Esse consistono di due angoli: la *latitudine* e la *longitudine.* Sono quindi un caso particolare di coordinate polari (figura 3).

La *latitudine* di un punto è l'angolo che la retta passante per il centro della Terra e per il punto dato forma col piano dell'Equatore; è quindi di 0° all'Equatore, di +90° al polo Nord, di —90° al polo Sud.

La *longitudine* di un punto è l'angolo che il piano passante per l'asse di rotazione della Terra e per il punto dato forma con un piano meridiano di riferimento. Spesso per piano di riferimento si assume quello del meridiano di Greenwich; in Italia le longitudini si calcolano di solito rispetto al meridiano passante per l'osservatorio di Monte Mario, a Roma. La longitudine può essere verso Est o verso Ovest.

Per fare un esempio, la posizione dell'Abisso dei Campelli (Como) si esprime nel modo seguente: 2° 55' 51",0 longitudine Ovest di M. Mario; 45° 57' 04",9 latitudine Nord.

Cartografia

Tipi di carte utili allo speleologo

Carte geografiche

Per consuetudine, si definiscono con questo nome le rappresentazioni grafiche in planimetria della superficie terrestre in scala inferiore a 1 : 100.000, cioè 1 : 200.000; 1 : 500.000 ecc. Sono di relativa utilità allo speleologo, salvo che per definire gli itinerari stradali relativi alla meta delle sue escursioni.

Carte topografiche

Sono rappresentazioni planimetriche della superficie terrestre in scala più grande delle precedenti, e quindi contengono un maggior

numero di particolari concernenti sia l'orografia, sia l'idrografia, sia i manufatti presenti nelle zone rappresentate.

L'Istituto Geografico Militare italiano pubblica una vasta serie di carte topografiche del territorio nazionale, fra cui sono importanti: i « fogli » in scala 1 : 100.000 (1 km = 1 cm), che però raramente servono allo speleologo, tranne che per un quadro globale delle sue zone di operazioni; e le « tavolette » in scala 1 : 25.000 (1 km = 4 cm), ricoprenti ciascuna una superficie quasi quadrata con lato un po' inferiore a 10 km; queste sono le più adatte all'uso speleologico.

Gli sviluppi futuri prevedono l'abbandono delle tavolette 1 : 25.000 in favore di una nuova serie di carte in scala 1 : 50.000, forse più belle ma utilizzabili con precisione inferiore, e di carte tecniche in scala 1 : 5.000 o 1 : 10.000, pertanto molto particolareggiate, che sono già disponibili (edite da enti regionali) per alcune zone, per ora molto limitate.

Da segnalare, per le zone di confine, le ottime carte edite dall'Istituto Geografico Nazionale francese e dal Servizio Topografico Federale svizzero. Val la pena di ricordare anche le carte topografiche delle zone turistiche, edite su varie scale dal TCI, dal CAI e da varie case editrici o enti locali, che a volte sono di notevole valore perché molto più aggiornate delle carte militari per quanto riguarda strade, sentieri, rifugi ecc.

L'interesse speleologico delle *mappe catastali dei terreni*, che definiscono la proprietà di questi ultimi, è invece assai scarso.

Carte geologiche

Le *carte geologiche* riportano sopra la rappresentazione del terreno l'indicazione a colori delle varie formazioni rocciose affioranti e dei corrispondenti periodi geologici. Vari simboli indicano le peculiarità geologiche e tettoniche; sono accluse una breve descrizione delle formazioni indicate e qualche sezione.

Il territorio italiano è coperto da una serie di fogli in scala 1 : 100.000, la cui età e la cui accuratezza variano sensibilmente dall'uno all'altro. Sono stati pubblicati finora solo pochissimi fogli della nuova serie in scala 1 : 50.000.

Lettura delle carte topografiche

Sulle carte topografiche la superficie terrestre è rappresentata mediante una vasta gamma di convenzioni e di simboli. La carta è una rappresentazione planimetrica del terreno, come lo vedrebbe un aereo da altissima quota. Pertanto il rilievo e l'altimetria non risultano



Figura 4. Esempio di carta topografica (T.C.I., scala 1 : 20.000, Gruppo delle Grigne). Dettaglio

di per sé, e devono essere messi in evidenza con tecniche particolari.

Il metodo delle *curve di livello* o *isoipse* consiste nel tracciare sulla carta una serie di linee sottili, ciascuna delle quali congiunge i punti che si trovano tutti alla stessa quota sul livello del mare. Sulle tavolette IGM le curve di livello sono tracciate in corrispondenza di quote intervallate di 25 metri. Ogni 100 metri le curve sono leggermente ispessite. Di molti punti salienti è riportata inoltre la quota esatta, con la precisione del metro. Il metodo delle curve di livello consente di apprezzare a colpo d'occhio la pendenza del terreno (curve ravvicinate = pendenza forte; curve distanziate = terreno pianeggiante) e soprattutto di interpretarne la *plastica*: valli più o meno incassate, speroni delle montagne, versanti dentellati dalle vallecole. Le scarpate più ripide sono indicate da un fitto tratteggio. Farsi l'occhio al riconoscimento della forma di valli e montagne partendo dalle curve di livello è un esercizio utilissimo e divertente.

In calce a ogni tavoletta IGM sono riportati poi i più importanti segni convenzionali che ne consentono l'esatta lettura (fiumi, laghi, sorgenti; case, chiese, costruzioni varie; strade e sentieri; prati, boschi ecc.). L'IGM pubblica inoltre un manualetto completo di tutti i simboli, le abbreviazioni, le convenzioni. In figura 6 sono riportati i simboli specifici del fenomeno carsico che più frequentemente si trovano sulle tavolette IGM. Occorre fare un po' di attenzione, perché talvolta non sono usati del tutto a proposito.

L'accuratezza delle tavolette IGM è soprattutto funzione dell'età. I vecchi rilievi topografati a mano contengono errori di collocazione anche notevoli, mentre quelli aerofotogrammetrici (cioè ottenuti in base a fotografie aeree scattate e interpretate con apparecchi speciali) sono molto più precisi. La posizione di oggetti particolari (per esempio le grotte) può tuttavia essere erronea anche sulle carte nuove. Infine occorre ricordare che negli ultimi decenni l'uomo ha alterato non di poco il volto della Terra: sono sorte nuove strade, case, laghi artificiali, linee elettriche, mentre moltissimi sentieri riportati in carta sono stati abbandonati e inghiottiti dalla natura.

Uso della carta topografica nelle applicazioni speleologiche

Generalità e strumentazione

La carta topografica serve allo speleologo soprattutto per tre cose: per orientarsi; per ritrovare un punto (grotta) di coordinate note; per ricavare le coordinate di un punto (grotta) trovato sul terreno. Per questi scopi ci si giova sempre delle tavolette IGM 1 : 25.000,

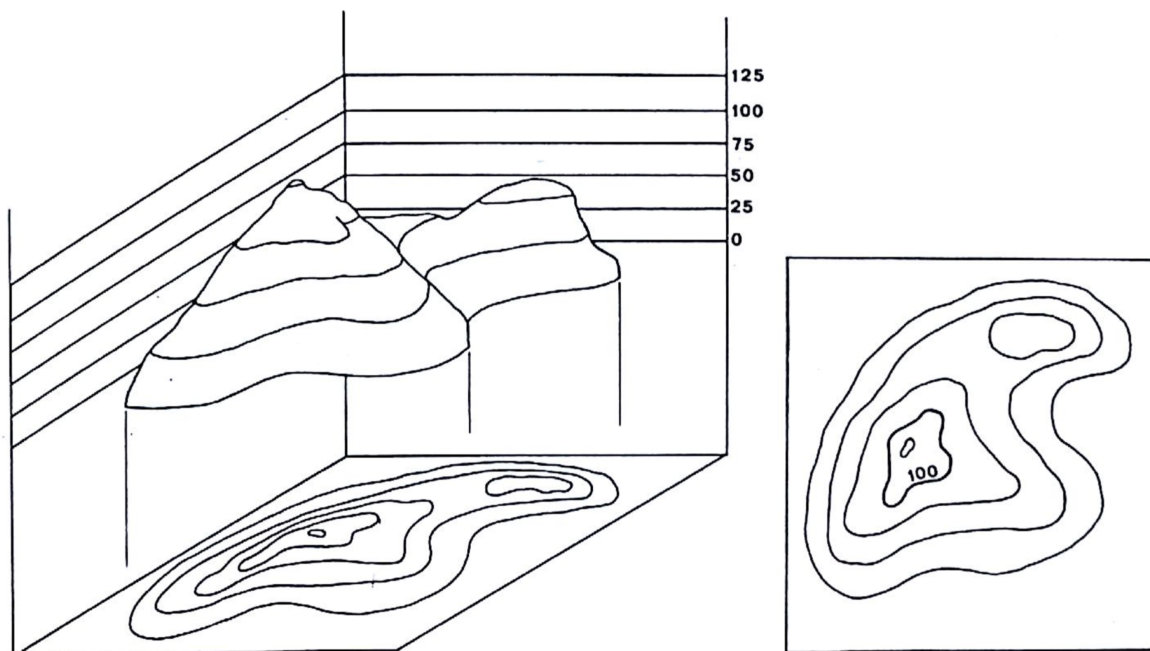
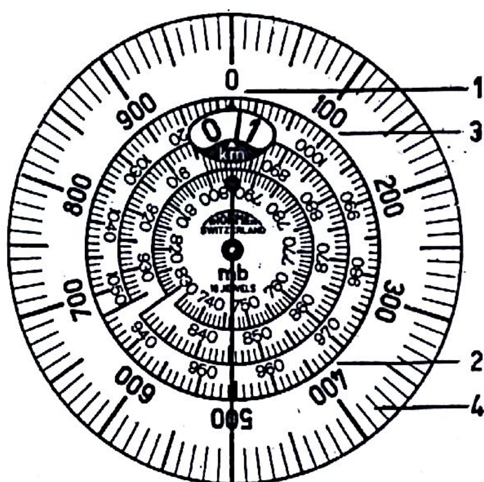


Figura 5. Curve di livello



Figura 6. Simboli peculiari dei fenomeni carsici segnati talvolta sulle carte topografiche I.G.M.



1 zero
2 scala barometri
3 indicatore quota in km
4 scala delle altitudini

Figura 7. Tipico quadrante di altimetro
N.B. Per tarare lo strumento, il quadrante può essere ruotato rispetto alla lancetta

che consentono di localizzare un punto con la precisione di una decina di metri.

Tuttavia le carte non sono sufficienti da sole; occorrono anche alcuni *strumenti topografici* per determinare la posizione in cui ci si trova. Questi strumenti consistono generalmente di una *bussola* e di un *altimetro*.

Delle bussole si tratterà diffusamente più avanti; quanto agli altimetri, che non sono altro che *barometri* tarati in metri sul livello del mare, si consiglia di procurarsi un modello con divisioni di 10 metri in 10 metri: accontentarsi di una accuratezza inferiore può causare spesso faticose ricerche su e giù per versanti scoscesi.

Siccome l'altimetro misura la *pressione atmosferica*, e questa cambia nel tempo (anche a seconda delle condizioni meteorologiche e non solo della quota a cui ci si trova), le indicazioni dell'altimetro possono essere considerate degne di fede solo se si provvede frequentemente a *ritararlo* quando si raggiungono dei punti la cui quota esatta è riportata sulla carta topografica. È necessario farlo almeno ogni 500 metri di dislivello e ogni 2 o 3 ore; anche più spesso, se il tempo è perturbato.

Orientamento

Per trovare la grotta, e anche per ritrovare la strada di casa di notte o nella nebbia, occorre capire con esattezza dove si sia e in che direzione si debba andare. Questo a priori sembra facile, ma in un bosco o su un altopiano crivellato da doline possono crearsi situazioni imbarazzanti.

Bisogna saper leggere i simboli della carta, abituarsi a identificare i particolari e a riconoscere dalle isoipse la forma del terreno. Bussola (sia traguardando punti noti, sia annotando la direzione delle valli o delle creste) e altimetro aiuteranno a valutare la propria posizione.

Riporto di un punto, note le coordinate

La procedura per il ritrovamento di una grotta già nota comincia dalla ricerca dei suoi *dati catastali*, che comprendono coordinate e quota dell'ingresso, sviluppo e profondità, e inoltre spesso altre notizie molto utili. Questi dati possono essere stati pubblicati separatamente su qualche rivista specializzata: si trovano però raccolti insieme negli elenchi del catasto delle grotte d'Italia.

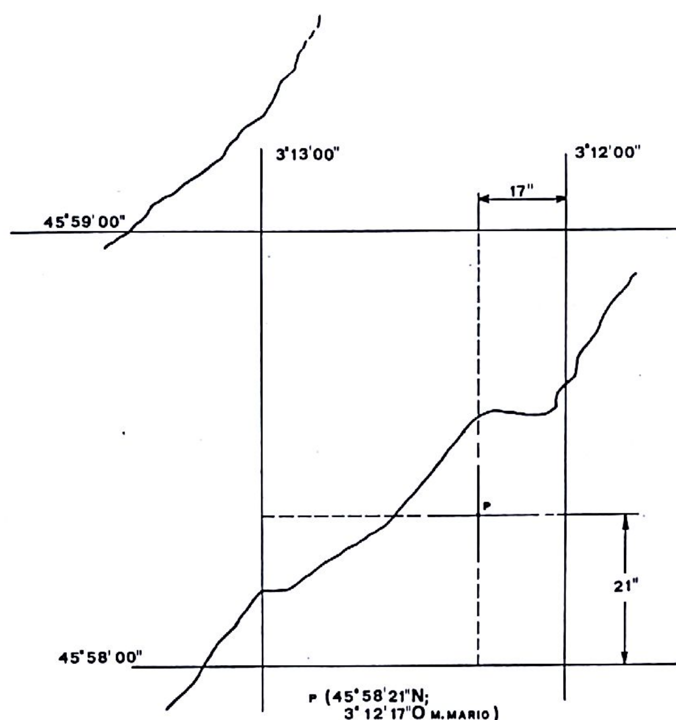


Figura 8. Ricerca in carta di un punto, note le coordinate

Note le coordinate, per segnare sulla carta topografica il punto corrispondente alla grotta si deve far riferimento al reticolo di coordinate geografiche, segnato in margine a tutte le tavolette IGM in primi di latitudine e di longitudine. Ai quattro angoli della carta sono date le coordinate esatte di questi, in gradi, minuti e secondi.[2]

Con matita a punta fine e riga sicuramente diritta (per esempio metallica), si traccia tutto il reticolo sulla carta, ottenendo così dei rettangoli di 1' di lato. A tal punto basta riportare i secondi in proporzione alla lunghezza grafica del primo per poter segnare con esattezza la posizione cercata. L'IGM fornisce comodi coordinatometri in plastica per eseguire le operazioni suddette con la massima pulizia e precisione.

Trovata la posizione, si verifica se la quota risultante dalle curve di livello corrisponde con quella riportata a catasto. Un errore in questa fase di posizionamento della grotta può portare facilmente a perdere la giornata in vane e faticose ricerche sul terreno.

[2] Sulle tavolette meno moderne è riportato anche il reticolo chilometrico delle coordinate UTM (Universali Trasverse Mercatore), ormai in disuso pur essendo un metodo comodo per la determinazione rapida del punto.

Ricerca delle coordinate di un punto noto sul terreno

Immaginiamo di trovarci sull'ingresso di una grotta e di volerne determinare le coordinate geografiche. Valutata la quota con l'altimetro (tarato, come detto, in base a punti vicini quotati in carta), si cercano sulla carta stessa dei punti individuabili con precisione, che possano essere collimati con la bussola dal punto in cui ci si trova. Attenzione alle cime delle montagne: talvolta si sbaglia grossolanamente la posizione della sommità di un panettone tondeggiante, oppure si prende un'anticima visibile per la cima vera nascosta. I punti migliori sono quelli più vicini, preferibilmente quasi alla stessa quota, perché portano a errori di posizionamento più ridotti.

Se dall'ingresso della grotta non si riesce a collimare almeno tre punti ben individuati, bisogna tracciare una *poligonale* (cfr. più avanti) fino a un punto da cui si possa fare la collimazione. Si trascrivono quindi le direzioni misurate, annotando a quale traguardo siano relative. A casa si riportano in carta delle rette aventi tali direzioni (corrette della declinazione magnetica) uscenti dai punti traguardati. Se strumenti e misure fossero perfetti, tutte le rette così ricavate s'incontrerebbero in un solo punto, corrispondente alla posizione della grotta. Siccome invece c'è sempre un certo margine di inesattezza, si otterrà un piccolo poligono delimitato dalle varie rette. La posizione della grotta sarà assunta nel baricentro di questo poligono.

Naturalmente se il poligono risultasse troppo vasto (oltre 20 o 30 metri) vorrebbe dire che sono stati commessi errori inaccettabili. Se tutte le rette si incrociano quasi nello stesso punto, meno una, questa può essere sicuramente scartata come erronea e il calcolo può essere fatto con le rimanenti. Questo è un buon motivo per collimare sul terreno anche più di tre punti. Due sole collimazioni già darebbero in teoria la posizione cercata, ma non permetterebbero di valutare in alcun modo la precisione delle misure; tre collimazioni è dunque proprio un minimo assoluto.

Fatto il punto, si verifica la coincidenza della quota misurata con l'altimetro e di quella che risulta in carta dalle curve di livello; si verifica anche che la posizione trovata sia corretta rispetto alla morfologia del terreno circostante. Eseguendo alla rovescia le operazioni del paragrafo precedente, si ricavano le coordinate del punto. Siccome le carte topografiche non sono mai accurate al cento per cento, è opportuno indicare sempre, accanto alle coordinate risultanti da questo procedimento, in base a quale carta topografica siano state ricavate e a quale edizione di essa.

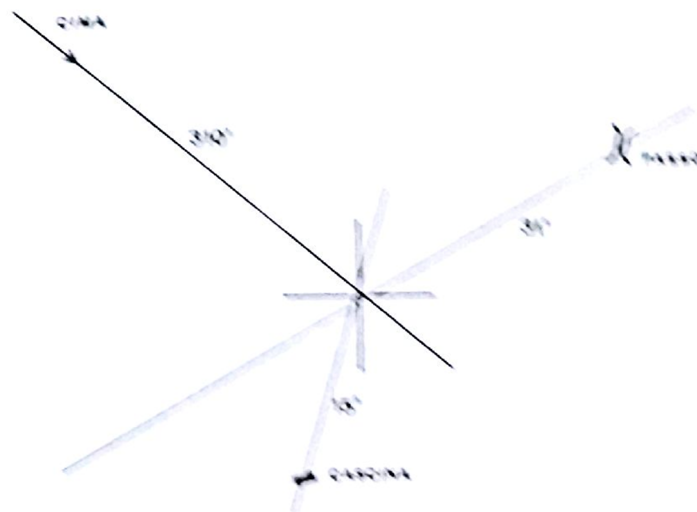


Figura 9. Riporto in carta di un punto trovato sul terreno

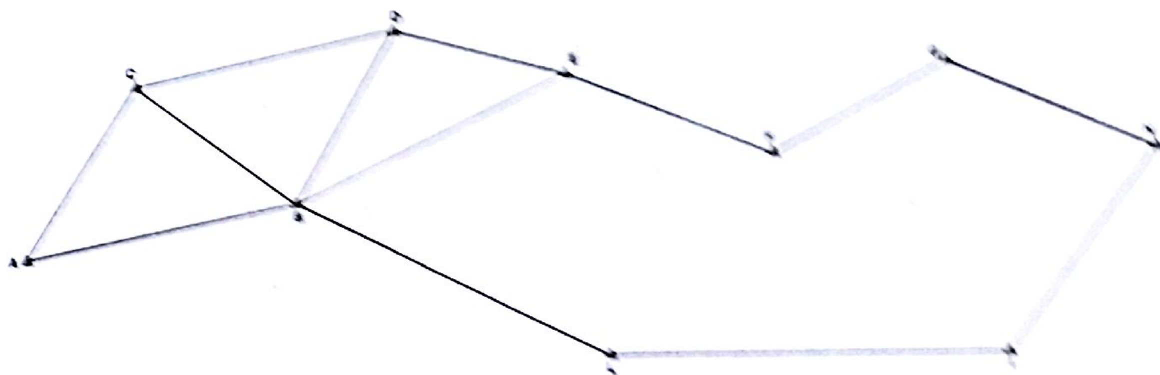


Figura 10. Triangolazioni e poligonali chiuse. Triangolazioni: 1) A-B; B-C; C-A; 2) B-C; C-D; D-B; 3) B-D; D-E; E-B. Poligonale chiusa: B-E; E-F; F-G; G-H; H-I; I-L; L-B

Cenni sull'esecuzione di un rilievo topografico di superficie

In alcune zone particolarmente fitte di fenomeni carsici la localizzazione precisa di essi richiede di tracciare una carta a grande scala (1 : 1.000 o 1 : 2.000). Per far questo occorre una strumentazione opportuna, che può coincidere con quella adottata per un rilievo ipogeo, ma può arrivare fino agli strumenti topografici professionali, se la precisione desiderata lo richiede.

La procedura consiste generalmente nell'esecuzione di una serie di *triangolazioni* o di *poligonali*, chiuse tutte le volte che è possibile. Queste operazioni non sono altro che l'individuazione sul terreno di una serie di punti e la misura strumentale della loro posizione

relativa. La chiusura dei percorsi o dei triangoli serve a controllare l'esattezza delle misure. Si determinano poi i connotati fondamentali del terreno, posizionandoli in riferimento ai caposaldi delle poligonali: punti riconoscibili, curve di livello, torrenti ecc. A ogni particolare forma carsica si farà corrispondere un adatto *simbolo grafico*, possibilmente traendolo da una *tabella standardizzata* (cfr. la bibliografia relativa a questo capitolo). Ogni simbolo sarà collocato nell'esatta posizione che gli compete in riferimento alla poligonale. L'imboccatura delle grotte può essere rappresentata (se grande abbastanza) dal profilo del suo contorno, inserendoci in mezzo il simbolo corrispondente.

Rilievi topografici di grotte

Composizione

Il rilievo di una grotta non può consistere soltanto di una rappresentazione in pianta come una carta topografica, neppure con l'impiego delle curve di livello per rendere l'altimetria: la complessità tridimensionale costringe all'impiego di più « viste » della grotta per rappresentarla completamente in modo univoco. Pertanto un rilievo topografico di grotta consiste normalmente di tre parti distinte: una *pianta*, una *sezione longitudinale* e una serie di *sezioni trasversali.* Sul rilievo sarà sempre indicata, in forma grafica, la scala dello stesso, indispensabile per la sua corretta interpretazione.

Pianta

La pianta è la proiezione della grotta su un piano orizzontale. Pertanto le altimetrie appaiono schiacciate; il disegno ricalca la massima larghezza dei vani praticabili, indipendentemente dall'altezza degli stessi; una diaclasi altissima e un cunicolo in pianta possono quindi essere indistinguibili.

I particolari sono quelli del pavimento o di ciò che giace sullo stesso; il soffitto non viene rappresentato. Talvolta la plastica del pavimento può essere indicata con l'ausilio di curve di livello, esatte o indicative, magari integrate da freccette rivolte nel senso della pendenza. Si noti che questa convenzione, universalmente adottata in speleologia e in cartografia, è contraria a quella adottata in architettura dove le frecce indicano le salite!

Le piante sono di particolare significato nella rappresentazione delle grotte a prevalente andamento suborizzontale, soprattutto se molto ramificate o labirintiche; mentre le grotte verticali, o che

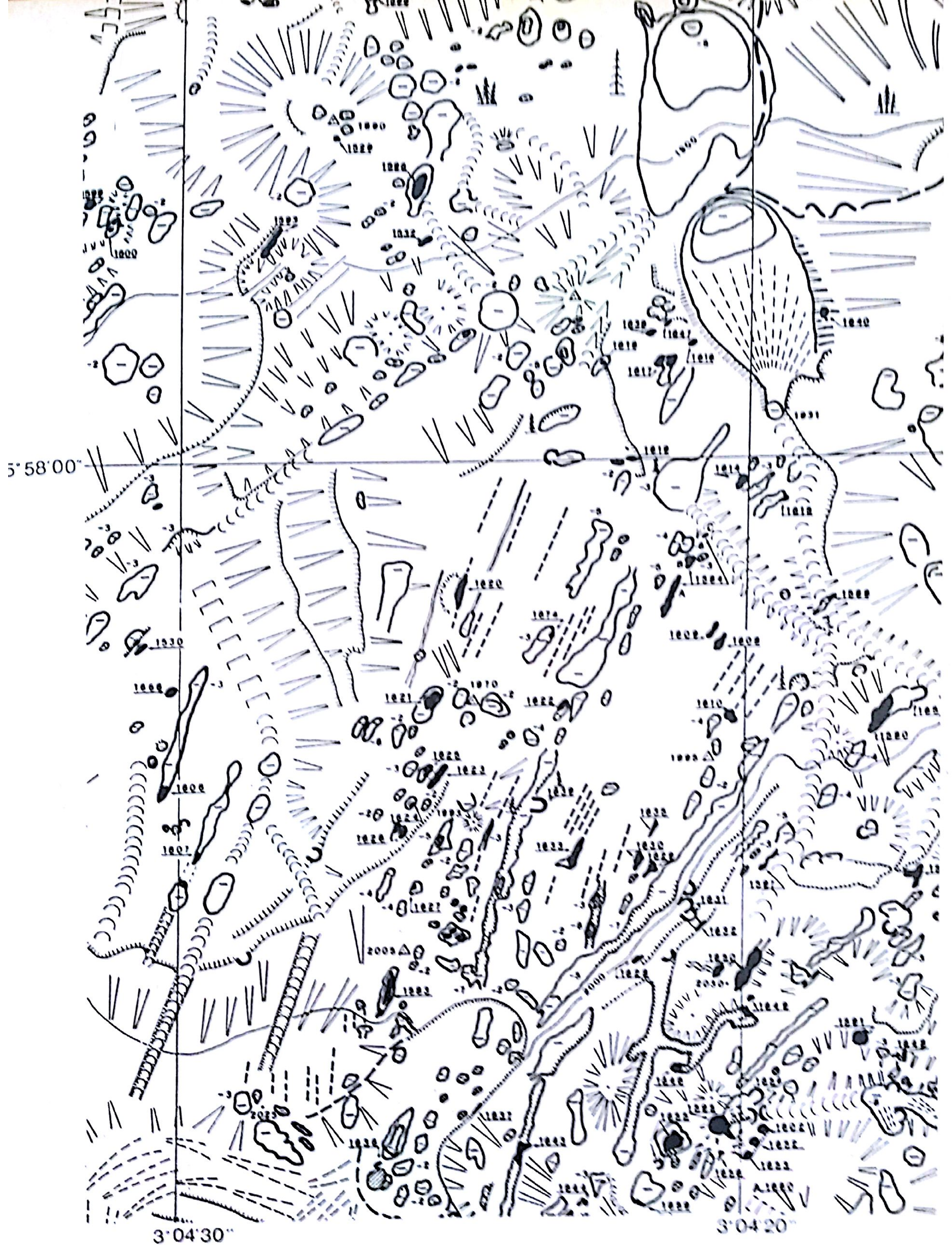


Figura 11. Esempio di carta topografico-morfologica di una zona carsica (Rif. Bogani-Bregai, Val Laghetto, scala 1 : 2500. Ril. Servida, Cappa, Bini, 1954/1973). Dettaglio

presentino comunque una serie di vani sovrapposti, hanno una pianta intricata e spesso così poco leggibile da richiedere di essere suddivisa in più blocchi. In tal caso verrà sempre fornita una chiave grafica per ricostruire come i vari blocchi si collegano e si sovrappongono.

Sulla pianta si troverà sempre indicata la direzione del Nord, con l'indicazione se si tratti del Nord geografico o magnetico.

Sezione longitudinale

La sezione longitudinale è ottenuta proiettando la grotta su una superficie verticale che segue l'andamento dell'asse della grotta stessa e sviluppando su un piano la proiezione così ricavata (vedi figura 12).

Pertanto la sezione longitudinale presenta sull'asse verticale le altimetrie e sull'asse orizzontale le distanze planimetriche fra i vari punti. La grotta è rappresentata in *spaccato*, disegnando il profilo del pavimento e del soffitto; i particolari sono quelli presenti nella metà dei vani che risulta opposta al punto di vista. Viene così messo in risalto l'andamento altimetrico, mentre perdono consistenza la direzione e l'ampiezza dei vani; risulta agevole il disegno di vani sovrapposti, mentre è difficoltoso quello di rami paralleli, che spesso per chiarezza sono disegnati staccati, indicando con esattezza come si ricollegano al tronco principale.

Sezioni trasversali

La pianta e la sezione longitudinale sono insufficienti a rappresentare l'esatta *forma* dei vani. Si osservi infatti la figura 13: alla stessa pianta e alla stessa sezione longitudinale possono corrispondere sagome diversissime, evidenziabili soltanto da opportune *sezioni trasversali*. Pertanto in tutti i buoni rilievi si troverà una serie di sezioni trasversali; vi sarà, di regola, una sezione per ogni significativo mutamento nella sagoma. I particolari saranno solo quelli presenti nell'intersezione della grotta col piano di sezione.

Le sezioni trasversali consentono di rendersi conto della più o meno facile transitabilità di una galleria; talvolta persino di individuarne a colpo sicuro l'impostazione tettonica e le condizioni idrologiche di formazione e sviluppo; in genere sono verticali, ma possono essere orizzontali (in vani orientati verticalmente) e più di rado oblique.

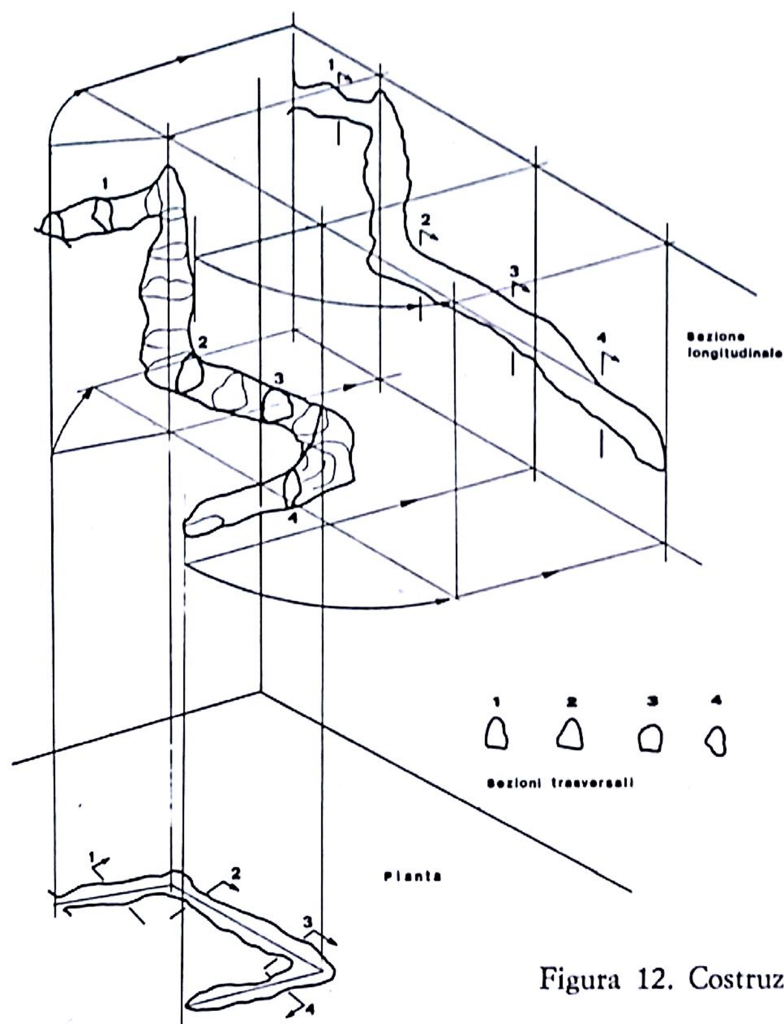


Figura 12. Costruzione del rilievo di una grotta

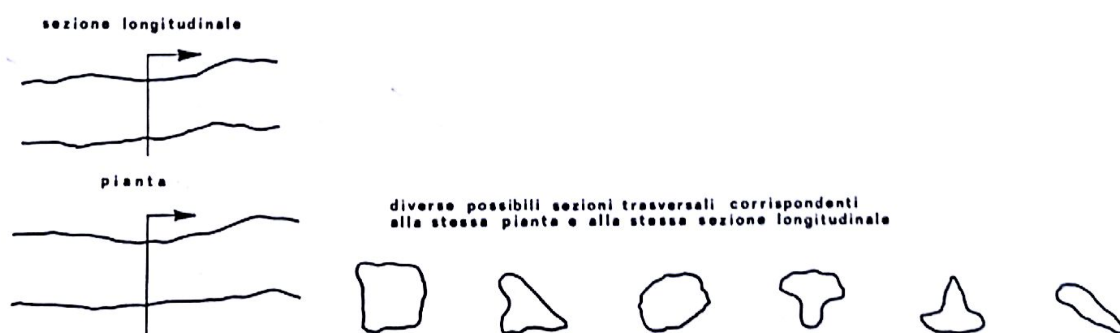


Figura 13. Sezioni trasversali

Segni convenzionali

Come nelle carte topografiche, anche per una soddisfacente rappresentazione dei rilievi delle grotte si adoperano opportuni segni convenzionali. Tali simboli si sono evoluti nel tempo seguendo il progresso sia delle tecniche grafiche che della esigenza di rappresenta-

zioni sempre più complete non solo delle forme geometriche ma anche delle morfologie evolutive delle cavità carsiche sotterranee.

Notevole l'iconografia di Rondina (1958) seguita, otto anni più tardi, dal primo tentativo di codificazione internazionale a opera della Union Internationale de Spéléologie (UIS, 1966). Nessun sistema è completo e si adatta perfettamente a ogni circostanza: perciò ciascun rilevatore si crea col tempo un proprio stile. Questa situazione crea qualche volta delle difficoltà nell'interpretazione rapida e corretta dei rilievi, difficoltà che viene agevolmente superata se ci si abitua a osservare frequentemente il maggior numero possibile di rilievi di differenti autori e ci si tiene aggiornati con le più recenti pubblicazioni.

Nella figura 14 è acclusa una raccolta di segni convenzionali fra i più usati.

Applicazioni dei rilievi topografici di grotte

L'utilizzabilità di un rilievo di grotta dipende dalle intenzioni e dalle capacità di chi lo ha eseguito. Uno schizzo speditivo servirà tutt'al più a capire la quantità di materiale che occorre portarsi dietro, mentre un rilievo più accurato consentirà di rendersi conto della struttura morfologica della grotta e persino di apprezzare le sue residue possibilità esplorative. Solo un rilievo ben fatto sarà la base per qualsiasi studio successivo: morfologico, idrologico, geologico o altro.

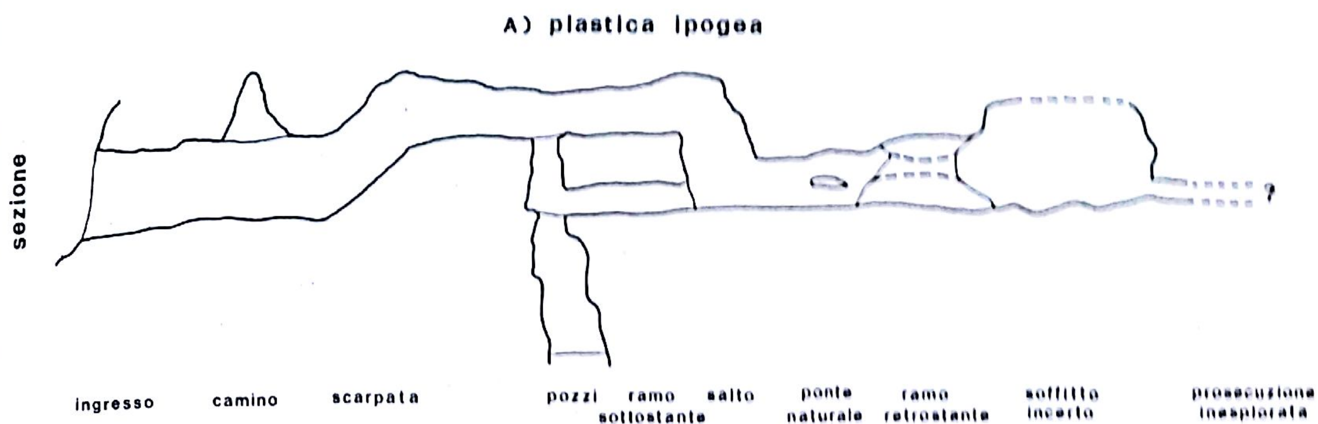
Un rilievo preciso sarà inoltre uno strumento esplorativo potentissimo: esso permetterà di stabilire la posizione di un ramo di grotta rispetto alla superficie esterna o a una grotta vicina, consentendo di valutare se valga la pena di tentare la ricerca di un nuovo ingresso o di una congiunzione.

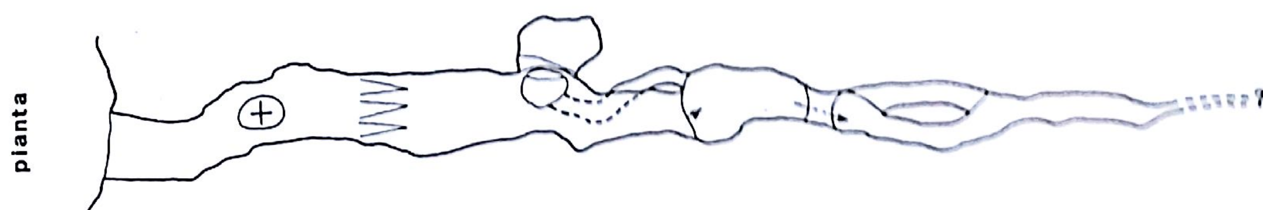
Esecuzione di un rilievo topografico ipogeo

Generalità

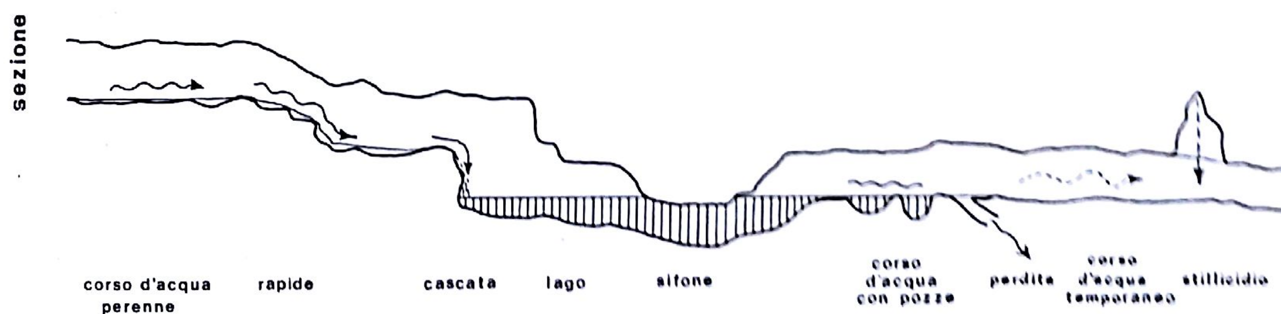
L'esecuzione del rilievo topografico di una grotta deve essere impostata tenendo presenti sia lo scopo che ci si prefigge sia le circostanze in cui l'operazione deve essere compiuta. L'organizzazione dei lavori varia a seconda che si intenda realizzare uno schizzo esplorativo « tanto per rendere l'idea », oppure un rilievo di precisione; varia anche se si vuole o si è costretti a completare i lavori in

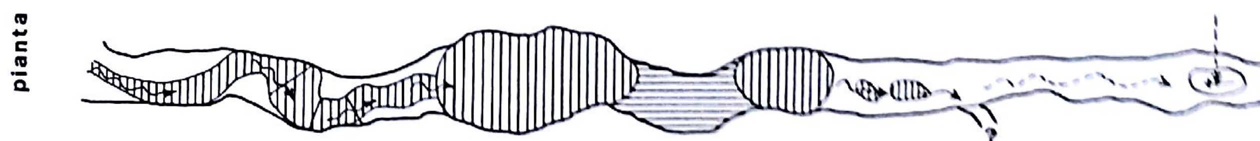
A) plastica ipogea





B) idrografia





C) depositi

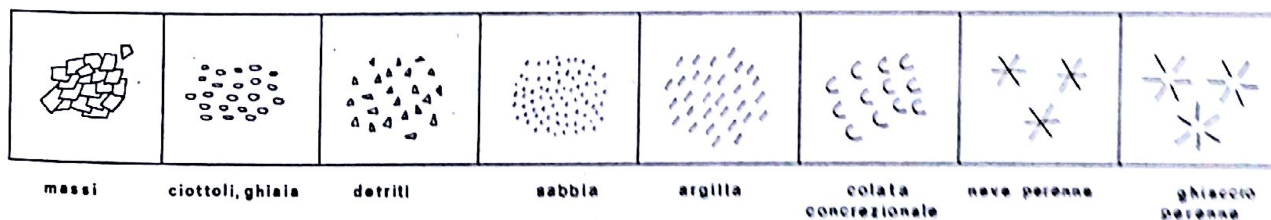


Figura 14. Esempi di alcuni simboli fondamentali usati nei rilievi topografici delle grotte

una sola « passata », o se si intende tornare più volte a perfezionarli.

Comunque sia, l'esecuzione di un rilievo in grotta consisterà delle due fasi di *rilevamento* in grotta e di *restituzione* a tavolino, fasi che dovranno essere obbligatoriamente più vicine possibile nel tempo.

A sua volta, il rilevamento consiste di due operazioni fondamentali (che conviene eseguire simultaneamente): il rilevamento della *poligonale* e il *disegno* della grotta e dei particolari. La poligonale è una linea spezzata ideale, composta da una successione di segmenti (*lati* della poligonale) percorrenti l'intera grotta, che si traccia allo scopo di misurare la posizione relativa dell'estremo finale di ciascun segmento rispetto a quello iniziale (*caposaldi*). Si costruisce così lo « scheletro » della grotta, dal quale è possibile ricavare l'andamento e la posizione assoluta di tutte le sue diramazioni. Attorno a questo scheletro si disporrà la « carne », ossia il disegno dei limiti dei vani e dei loro riempimenti.

Strumentazione

Il rilevamento della poligonale consiste nella determinazione dei caposaldi, che si scelgono, con un certo grado di arbitrarietà, in punti comodi per le misurazioni, in vista fra loro, generalmente alla massima distanza possibile; e nella misura della loro posizione relativa. Per giungere a questo risultato si adotta per ogni lato di poligonale un sistema di coordinate polari, avente centro nel caposaldo iniziale, e si misurano in questo sistema le coordinate del caposaldo finale. È necessario effettuare quindi *tre misure* per ogni lato di poligonale; normalmente esse sono:

— *distanza spaziale* fra i due punti;

— *inclinazione* o *pendenza* della retta congiungente i due punti rispetto al piano orizzontale;

— *direzione* della retta congiungente i due punti rispetto a una retta di riferimento (di regola, l'orientazione al Nord).

Questo assieme di misure è il minimo indispensabile per determinare la posizione di un punto rispetto all'altro; inoltre esso è il più conveniente per la facilità delle misurazioni da eseguire. (Cfr. il paragrafo « Sistemi di coordinate » in questo capitolo.)

Ciascuna misura richiede l'uso di un opportuno *strumento topografico*. Le caratteristiche generali che a questi si richiedono per l'uso speleologico sono: robustezza, impermeabilità, resistenza alla corrosione e al fango, facilità e rapidità di lettura anche in posizioni disagevoli e in ambiente poco illuminato. La strumentazione da miniera, ingombrante e di uso assai lento, in grotta non si impiega mai.

Figura 15. Misure su un lato di poligonale

Misure di distanza

La distanza fra i due caposaldi si misura generalmente con una *fettuccia metrica*, nastro centimetrato di tela, metallo o materiale plastico rinforzato di fibra di vetro (preferibile quest'ultimo) avvolgibile entro una custodia. La lunghezza della fettuccia deve essere tale da consentire di coprire con una sola tirata ciascuno dei lati della poligonale, senza però esagerare, sia per diminuire i rischi di ingarbugliamento, sia perché la precisione delle tirate troppo lunghe tende a peggiorare. Si usano di solito, quindi, fettucce da 20 o da 30 metri (raramente anche da 50 metri).

La misura dei pozzi verticali oltrepassanti questa lunghezza, e che non si lascino spezzare in più tratte successive, si eseguiva una volta sempre col « metodo delle scalette »: contandone banalmente i gradini utilizzati e moltiplicando per il passo. Pur coi suoi difetti, il sistema era valido; purtroppo l'uso delle tecniche di sola corda lo ha reso impossibile.

Forse proprio per coprire questa esigenza, è stato inventato il *topofilo* (filo per topografia) che consiste di una scatola contenente un rocchetto di filo da cucire, che va steso da un caposaldo all'altro. Prima di uscire dalla scatola, il filo si avvolge in leggera tensione attorno a una rotella di circonferenza nota, che è collegata a un contagiri. La distanza si legge quindi direttamente come incremento tra la lettura del contagiri al caposaldo di partenza e a quello d'arrivo.

Il filo è preferenzialmente di cotone, che essendo biodegradabile può essere abbandonato sul posto. D'uso molto spedito, il topofilo ha anche alcuni inconvenienti: a volte il filo si spezza, a volte si raccoglie in inverosimili grovigli a metà corda; soprattutto è meno preciso della fettuccia, anche per l'allungamento del filo sotto tensione. Se si vuole rilevare con molta cura, conviene forse usare la fettuccia e riservare il topofilo alla misura dei soli tratti dove questa è inutilizzabile.

L'uso dello spago annodato a distanze fisse, molto economico, è da evitare per la precisione troppo limitata, mentre l'uso di un *telemetro* ottico causa problemi sia all'atto dell'acquisto (costa molto) sia dell'uso (necessita di buona illuminazione e non sopporta il fango).

Si noti che con tutti questi strumenti si misura la *distanza spaziale* tra due caposaldi, non quella planimetrica.

Misure di pendenza

La forza di gravità fornisce un comodissimo riferimento per la misura della pendenza. Tutti gli strumenti di utilità pratica adottano o qualche tipo di *filo a piombo* o *pendolo* o di *bolla* per determinare il piano orizzontale e un *collimatore* per determinare la linea congiungente i due caposaldi. Si legge quindi l'angolo compreso: questo può venire misurato in *gradi sessagesimali* (può variare fra + 90° e — 90°) oppure, meno frequentemente, sotto forma di *pendenza percentuale*, che corrisponde alla tangente dell'angolo espressa in percentuale della tangente di 45° (cioè un angolo di 45° corrisponde alla pendenza del 100 %). Tale valore corrisponde anche al rapporto fra il dislivello dei due caposaldi e la loro distanza planimetrica.

In figura 16 sono illustrate le caratteristiche salienti di alcuni fra i più noti inclinometri adottati in speleologia.

Misure di direzione

In topografia esterna i professionisti misurano la direzione di un lato di poligonale tramite l'angolo che esso forma con la direzione del lato precedente. In grotta è più comodo, e persino (per poligonali di oltre 10 ÷ 20 lati) più preciso, misurare per ciascun lato la direzione rispetto al Nord magnetico, come viene indicato da una bussola. Anche qui occorre eseguire la collimazione dei due caposaldi, l'ago della bussola indica il Nord: si misura l'angolo compreso. Questo viene espresso in gradi sessagesimali (da 0° a 360° in senso orario, con partenza dal Nord) o centesimali (da 0° a 400° come sopra) oppure in sessantaquattresimi dell'angolo giro.

Oltre alle caratteristiche generiche richieste a tutti gli strumenti

Schema di funzionamento	Quello che si collima	Note d'uso
A) a filo a piombo collimatore scala graduata fissa filo a piombo		Il più rudimentale e meno preciso (non consente la lettura contemporaneamente alla mira). Durante la collimazione il piombo si dispone sulla verticale e occorre bloccarlo (col dito) per leggere la pendenza
B) a pendolo perno collimazione mira scala graduata fissa	scala fissa +20° +10°	Si prende in mano il perno e lo strumento si dispone sulla verticale. Si traguarda attraverso la mira e si legge direttamente. Occorre mano molto ferma
C) a bolla bolla scala graduata fissa indice (solidale alla bolla) collimatore specchio	vista specchio bolla	Durante la collimazione si posiziona anche la bolla, guardandola per mezzo dello specchio inclinato. La procedura richiede mano molto ferma e sensibile se non si dispone di un modello dotato di vite micrometrica. L'indice solidale con la bolla (che deve essere illuminata dall'alto) non si sposta dopo la collimazione e la lettura può essere fatta a posteriori adoperando anche il nonio
D) a disco perno collimatore peso eccentrico scala graduata incisa sul disco rotante	scala rotante +20° +10° 0°	Il disco, sospeso in bagno d'olio per diminuire gli attriti e insieme smorzare le oscillazioni, si dispone da solo sulla verticale. Si legge direttamente sulla scala graduata rotante. Richiede luce sulla scala graduata

Figura 16. Inclinometri da grotta

da grotta, dalla bussola per uso speleologico si pretende anche una facile lettura quando fra i due caposaldi la pendenza è notevole. Infatti per funzionare correttamente il quadrante della bussola deve stare in piano, e molte bussole hanno una collimazione assai difficoltosa quando la mira è molto sotto, o peggio molto sopra, il piano del quadrante.

In figura 17 sono riportate le caratteristiche salienti di alcune bussole impiegate in speleologia.

L'impiego della bussola richiede di porgere attenzione alla influenza dei materiali magnetici: non prendere misure stando molto vicini per esempio a una cancellata di ferro; controllare in grotta che i propri accessori (moschettoneria, imbragatura, impianto luce, orologio, ecc.) non vadano a influenzare la lettura.

Altri strumenti

L'altimetro in grotta è da proscrivere. Infatti, sia per la presenza di correnti d'aria che di stratificazione termica, gli sbalzi di pressione sono distribuiti in modo irregolare e falsano completamente le indicazioni dello strumento.

Sono stati compiuti dei tentativi di accoppiare assieme due o anche tutti e tre gli strumenti fondamentali da rilievo. Forse quello di maggior successo consiste nel fissare una bussola e un inclinometro a pendolo sulla cassa di un topofilo e giovarsi del filo stesso teso come collimatore fra i due caposaldi. Questo metodo, molto sbrigativo, consente tuttavia scarsa precisione.

L'uso di strumenti professionali, al contrario, in grotta è da scartare perché sono troppo fragili, costosi e lenti da utilizzare. Inoltre lo speleologo, che non è un professionista, ben raramente ha bisogno di una precisione migliore di quella consentitagli dai soliti bussola e inclinometro.

Precisione del rilievo

È noto che tutte le misure, anche le più accurate misure scientifiche, non possono essere perfette, ma sono sempre affette da una certa approssimazione. Esiste una branca della statistica che studia gli errori di misura e le loro probabilità. Pertanto lo speleologo rilevatore non deve vergognarsi di ammettere l'esistenza di un tasso di incertezza nelle proprie misure, e nemmeno può ignorarlo. Deve invece essere in grado di valutarne l'entità.

La precisione di un rilievo consiste di due cose distinte: la preci-

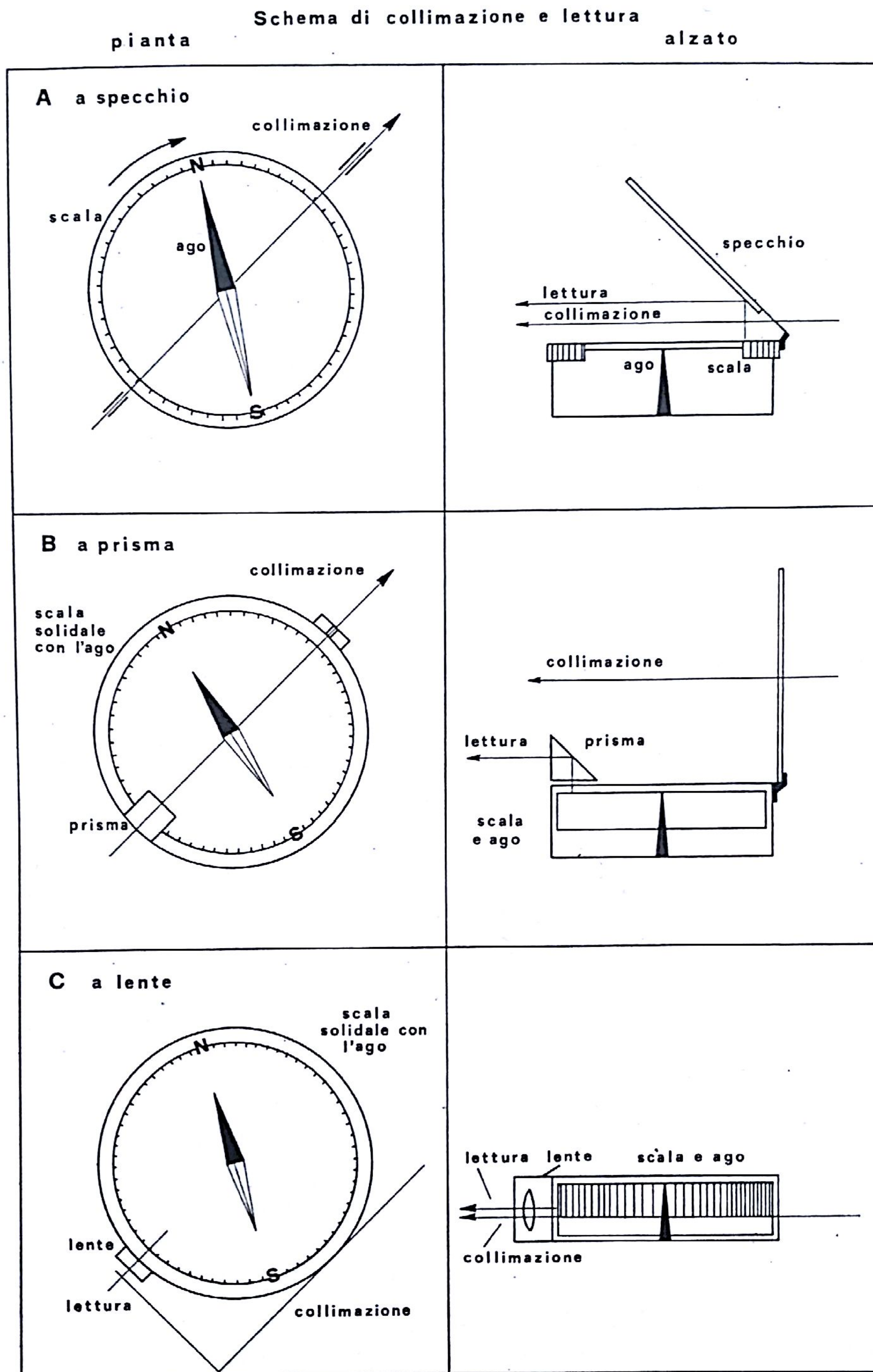


Figura 17. Bussole da topografia in grotta

A) Eseguita la collimazione, si ruota la scala fino a portare il nord in coincidenza con l'ago. Si legge attraverso lo specchio. Procedura imprecisa e tediosa. Impossibili misure discoste dall'orizzontale

B) Eseguita la collimazione si legge direttamente la scala attraverso il prisma. Metodo comodo e preciso, anche sopra il piano orizzontale. Fragile, teme il fango e richiede una buona illuminazione. Il piatto deve essere rigorosamente orizzontale

C) Come sopra, ma si legge senza prisma. La collimazione avviene per sovrapposizione delle immagini (scala e oggetto traguardato) che si formano nei due occhi del misuratore. Metodo meno preciso, soprattutto lontano dall'orizzontale. Strumento meno fragile e meno costoso del precedente

sione nelle misure della poligonale e la precisione con cui il disegno è stato costruito attorno a essa. Si ammette che quest'ultima possa essere minore della prima; tutt'e due devono essere funzione della scala finale del rilievo.

La precisione finale della poligonale disegnata risulta dalla precisione delle misure; dalla precisione nel posizionamento dei caposaldi; dalla precisione dei calcoli; dalla precisione del disegno.

L'uso di un calcolatorino e della carta millimetrata fanno sì che le ultime due cause diano in genere errori trascurabili rispetto a quelli commessi in conseguenza delle prime due.

Per la precisione nel posizionamento dei caposaldi, si nota che talvolta ci si sposta inavvertitamente, anche se di poco, dal caposaldo precedentemente individuato. Si può ovviare solo col metodo delle stazioni alterne (vedi più avanti) eseguito col cavalletto. Questo è un errore *accidentale* (cioè di volta in volta può essere diverso, casualmente, in grandezza e direzione). Ciò comporta che su un certo numero di caposaldi, è probabile una certa compensazione (per esempio, se l'errore probabile su un singolo caposaldo è 10 cm, su 100 caposaldi l'errore probabile non sarà 100 × 10 cm = 10 metri, ma solo 1 metro [10 cm × √ 100], come risulta dalle leggi della statistica). Occorre rilevare che si parla sempre di errore *probabile*: l'errore vero, se si rifacessero le misure con metodi precisissimi, potrebbe risultare sia più grande che più piccolo di quanto così ricavato.

Per ciascuna delle misure eseguite, l'errore che si commette consiste nella combinazione di varie cause: accuratezza intrinseca dello strumento (per esempio se sulla bussola la scala è in gradi, il valore misurato si potrà considerare noto con l'approssimazione di ±0,5°); errori di taratura dello strumento; errori accidentali dell'operatore (per esempio cattiva collimazione dei caposaldi).

Gli errori di taratura possono essere evitati con un buon controllo degli strumenti prima e dopo le operazioni di rilevamento. Va notato che questo tipo di errore è *sistematico*, ossia è sempre nella stessa direzione: pertanto non c'è alcuna compensazione e gli errori sulle varie battute si sommano in pieno. Per le pendenze questo errore può essere eliminato battendo ogni lato nei due sensi e facendo la media delle due letture. Si può avere una compensazione parziale adottando il metodo delle stazioni alterne. L'errore di taratura della bussola non può invece essere compensato in nessun modo.

Gli altri errori di misura sono invece errori *statistici*, pertanto soggetti a compensarsi parzialmente, come visto più sopra a proposito di quelli di posizionamento.

Nella pratica ci si accorge, però, che gli errori totali sono spesso

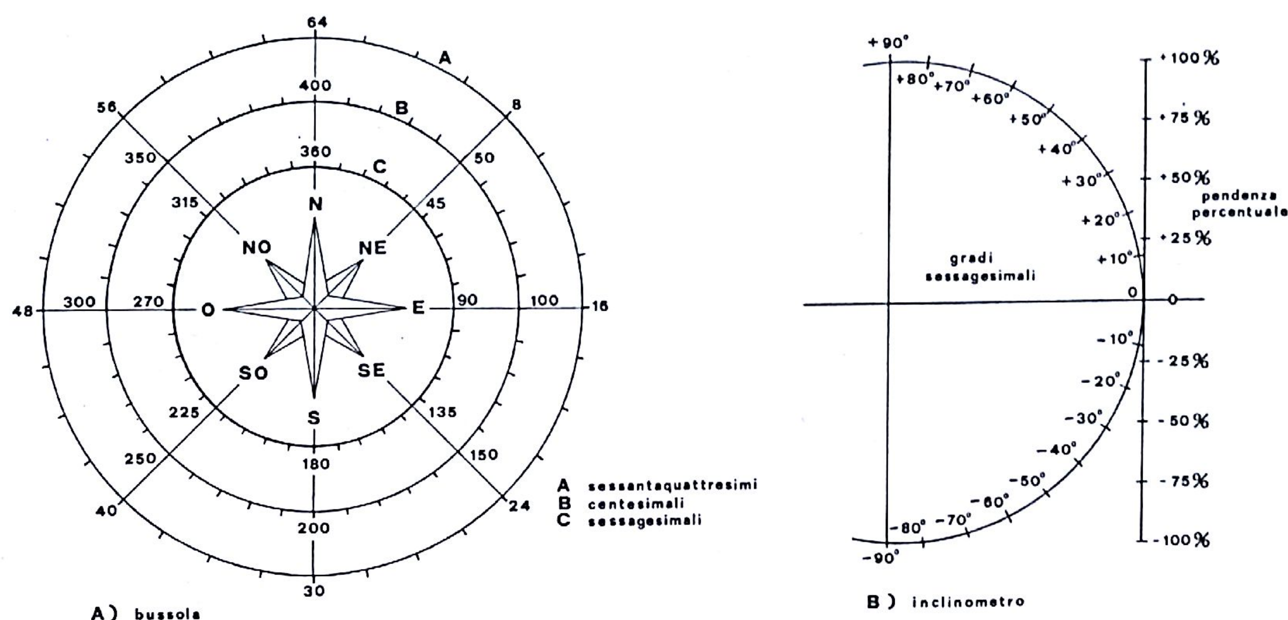


Figura 18. Graduazioni sui quadranti

molto più di quelli che la sola strumentazione comporterebbe. Ci se ne rende conto, per esempio quando, rilevando un anello, si *chiude* una poligonale, ossia si misura due volte la posizione di un caposaldo seguendo percorsi diversi. Ne consegue che in genere sono gli errori dell'operatore quelli che pregiudicano la precisione del rilievo.

Si può affermare che una buona precisione si ottenga non tanto con strumenti particolarmente precisi, quanto comodi e facili da usare in condizioni disagiate; e naturalmente mettendoci la massima cura. Il rilevatore, in definitiva, non può valutare la precisione delle sue misure che in modo soggettivo, basandosi sull'esperienza e con molta onestà personale. Sono noti invece casi di rilievi alterati *volutamente* per esagerare le profondità raggiunte, e molti altri dove, probabilmente in buona fede, sono stati commessi errori di centinaia di metri!

L'unico vero controllo consiste nell'eseguire ogni tanto, magari artificiosamente, delle poligonali chiuse: dagli errori risultanti in chiusura si potrà valutare la precisione media con cui si sta conducendo il rilievo.

Attrezzatura

Serviranno naturalmente degli strumenti da rilievo scelti nelle gamme indicate più sopra. Attenzione alle custodie: devono essere tali da consentire un notevole maltrattamento. Anche se trattato con cura, un sacco può sempre sfuggire accidentalmente di mano. A parte l'interruzione dei lavori, la riparazione di uno strumento da rilievo è sempre lunga e costosa.

Per la raccolta dei dati, si userà un notes o un quadernetto. Per scriverci sopra, se le condizioni di acqua e fango non sono estreme, una penna a sfera ha il vantaggio di scrivere più chiaro. È però sempre meglio avere una matita di scorta, assieme a un coltellino per farle la punta. La penna è bene sia del tipo senza cappuccio, a punta rientrante. Per matita è meglio un mozzicone perché si rompe meno facilmente. Neanche un grafomane la consumerà tutta in una sola giornata. I raffinati useranno matite di vari colori per i diversi tipi di annotazioni. Pennarelli e matite copiative sono da proscrivere: basta una goccia di stillicidio a cancellare un'ora di lavoro!

Tutto ciò deve essere facilmente inseribile in una comoda e robusta tracolla che protegge l'insieme del materiale durante gli spostamenti. Un utile accorgimento può consistere nel legare con uno spago i vari oggetti alla tracolla.

Può completare l'attrezzatura un doppio metro a nastro per misurare le piccole distanze. Una buona torcia elettrica servirà invece a illuminare i punti inaccessibili, sia per valutarne la distanza o l'altezza, sia per cercare eventuali prosecuzioni. Altri oggetti non sono strettamente necessari. Montare gli strumenti su treppiedi comporta un certo rallentamento ma migliora molto la precisione. Il treppiedi deve essere molto leggero e maneggevole, con gambe retrattili per adattarsi sia ai cunicoli che alle posizioni in spaccata. Naturalmente deve essere non magnetico. Il suo impiego è veramente vantaggioso solo quando si disponga di un attrezzo che consenta la collimazione simultanea di bussola e inclinometro.

Un corredo di buone fotografie, oltre a essere una utilissima documentazione in sé, aiuta talvolta a perfezionare i dettagli del rilievo; raramente però chi rileva ha la pazienza di fare contemporaneamente anche fotografie.

Composizione della squadra

Si può rilevare anche da soli: basta fissare la fettuccia sotto un sasso e portarsi all'altro caposaldo. Un tale sistema è tuttavia così

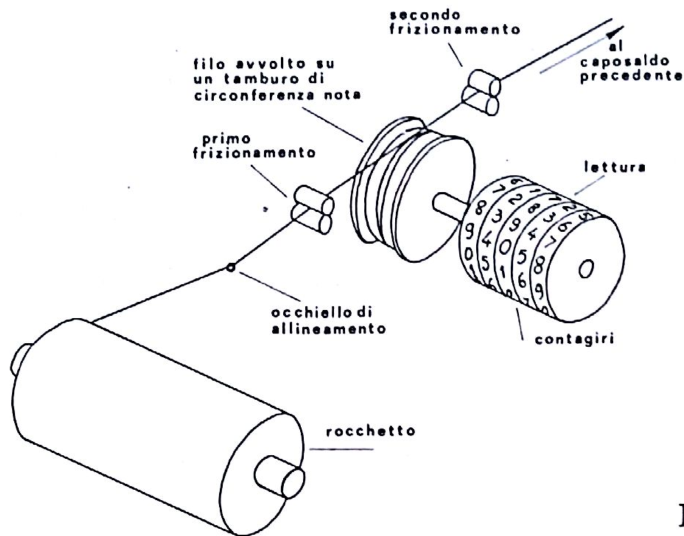


Figura 19. Topofilo

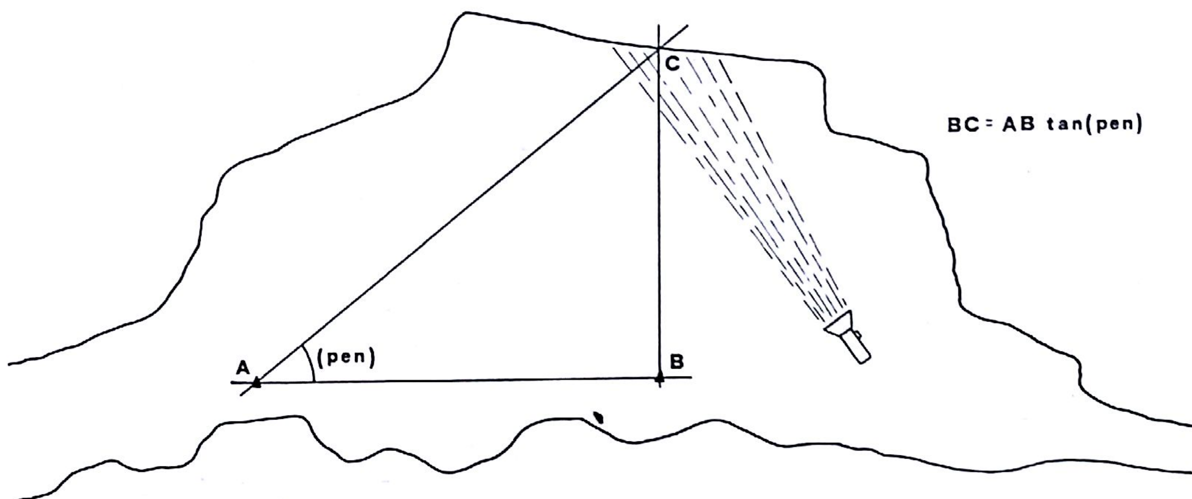


Figura 20. Misura dell'altezza di un punto irraggiungibile

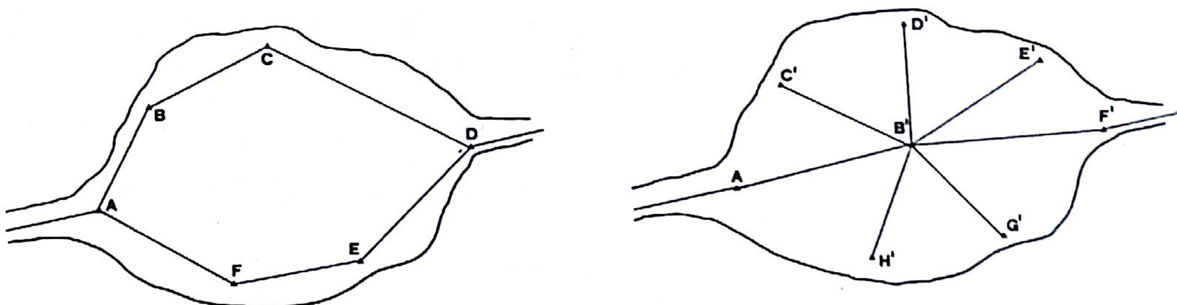


Figura 21. Rilievo di una sala mediante poligonale chiusa e a raggera

lungo e scomodo che nessuno lo usa. Pertanto, salvo per grotte o diramazioni tanto insignificanti da non richiedere una vera poligonale, si preferisce sempre essere almeno in due. Tre è notoriamente il numero perfetto; le persone in più aiutano a illuminare l'ambiente o a cercare cunicoli ma, a rigore, non partecipano al rilevamento vero e proprio.

La distribuzione dei compiti dipende anche dalle preferenze di ciascuno. Forse la squadra ideale è quella composta da uno « strumentista », un « misuratore di distanze » e un disegnatore. Il misuratore non fa che tendere la fettuccia metrica, pertanto può anche essere uno speleologo servizievole ma non esperto di rilievi. Lo strumentista sarà responsabile della precisione delle misure, il disegnatore della resa grafica degli ambienti. Sarà quest'ultimo a eseguire la restituzione e a stendere il rilievo nella sua forma definitiva.

Assegnare uno strumento ciascuno ai due non disegnatori non porta a un risparmio di tempo perché di solito è il disegnatore che tende a restare indietro. D'altronde, suddividere fra più persone l'incarico di quest'ultimo porta fatalmente a incomprensioni e disomogeneità all'atto della restituzione.

Se le dimensioni della grotta sono notevoli, per risparmiare tempo il rilevamento potrà essere ripartito fra più squadre, a ciascuna delle quali sarà contemporaneamente affidato un tratto di grotta: in questo caso occorre stabilire con estrema chiarezza i punti che costituiscono il caposaldo di collegamento tra i vari settori.

Modalità d'esecuzione

Strumentista e misuratore creano la poligonale; il disegnatore pensa a raccogliere i dati e a disegnare la grotta. Si stabilisce il primo caposaldo e il misuratore procede fino a quando, o finisce la fettuccia, o è sul punto di non vedere più il primo caposaldo, nascosto da una curva o da un ostacolo. Allora cercà un punto che consenta una buona partenza per il successivo lato di poligonale e lì si ferma. Meglio se il caposaldo scelto coincide con qualcosa di solido (a meno che si usi il cavalletto): sarà più facile evitare di spostarsi quando si batterà il lato successivo. Materializzare i capisaldi con la fuliggine del carburo, macchie di vernice o altro, è utile solo per rilievi importantissimi o quando si smette di rilevare per continuare un'altra volta.

Il misuratore colloca una luce sul caposaldo; lo strumentista piazza gli strumenti nel punto del caposaldo precedente, collima e legge. Il disegnatore trascrive i dati. Nel frattempo, questi sta disegnando il tratto di grotta corrispondente al lato della poligonale, in pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali. Per far questo deve

osservare come la fettuccia corra rispetto a pareti, pavimento e soffitto e tracciare il profilo di questi, prendendo di solito le misure a occhio. Se non ci si fida delle proprie valutazioni o se le distanze sono ragguardevoli, o se si richiede una precisione superiore al normale, si userà il metro a nastro o un'altra fettuccia. Meglio trascrivere molte misure, anche prese ad occhio, che fidarsi di fare lo schizzo in scala.

Il disegno dovrebbe riportare, in teoria, la traccia di pavimento e soffitto sulla verticale esatta della poligonale; in pratica ci si affida al buon senso, poiché l'importante è « rendere » come sono fatti gli ambienti. Eventuali dubbi saranno sempre sciolti dall'esame delle sezioni trasversali.

L'altezza dal suolo di un camino o del soffitto di una sala, difficilmente valutabile a occhio, può essere misurata (a parte il teorico palloncino-sonda) con un sistema trigonometrico (vedi figura 20).

Il disegnatore riporterà tutti i particolari e tutte le annotazioni che crede opportune, in chiaro e/o con simboli, tenendo presente lo scopo del suo rilievo. Si ricordi comunque che un rilievo che consti di sole quattro righe è di ben poca utilità: si dovrebbero sempre riportare almeno le fondamentali caratteristiche tettoniche, l'idrologia, i riempimenti più importanti.

La pianta va estesa a tutte le diramazioni; le sezioni si possono anche trascurare per brevi diverticoli senza importanza. La frequenza con cui vanno eseguite le sezioni trasversali dipende dalla frequenza con cui la grotta cambia significativamente sagoma. In linea di massima una sezione ogni caposaldo può andar bene: si sfrutta l'alone luminoso della lampada del misuratore, che rende in modo assai evidente la forma della galleria.

Naturalmente il disegnatore deve avere la facoltà, per tacito accordo, di arrestare gli altri per completare meglio gli schizzi o per farsi prendere misure supplementari. Queste sono specialmente utili negli ambienti vasti, per rilevare esattamente i quali conviene eseguire poligonali chiuse o raggiere, come nel rilevare una zona di superficie.

Ovunque risulti possibile è buona norma rilevare a « stazioni alterne », ossia un lato di poligonale col misuratore avanti e lo strumentista dietro, il lato successivo viceversa. Questa disposizione serve a compensare gli eventuali errori di taratura degli strumenti e anche a diminuire le incertezze sul posizionamento dei capisaldi. Quanto al problema se convenga di più rilevare una grotta a partire dall'ingresso o dal fondo, dipende dalle circostanze e dalle preferenze individuali. Rilevando col topofilo, è meglio affrontare i pozzi in salita. Il filo può rompersi e ricalarlo è più comodo che risalire. I

più pazienti possono rilevare la grotta in discesa e poi rifare la poligonale in salita; questo evidenzia errori grossolani e al tempo stesso fornisce una ottima stima della precisione totale ottenuta, perché si ottiene, in ultima analisi, una poligonale chiusa.

Raccolta dei dati

Il quadernetto del disegnatore può essere a fogli bianchi o quadrettati, può anche riportare un assieme di caselle per essere sicuri di trascrivere tutti i dati e riferirli correttamente. Naturalmente, più uno è disordinato di sua natura, più avrà bisogno di un incasellamento coatto.

Ognuno si crea il dispositivo che preferisce: è puro buon senso rispettarlo, evitando di dimenticare dei dati che magari sarà impossibile poi ricostruire. Occorre annotare sempre da quale caposaldo sono eseguite le misure di ciascun lato, e da che parte sono viste le sezioni trasversali. Regola fondamentale è la chiarezza; la scala degli schizzi e la quantità dei particolari dipendono dalla scala in cui si desidera il rilievo finale. Nel dubbio è bene tener presente comunque che è facile eliminare particolari superflui, ma non è lecito inventarli.

Rilievo subacqueo

È bene premettere che il rilievo delle parti sommerse delle grotte è alquanto difficile e richiede sia strumenti sia tecniche particolari.

Nel rilievo subacqueo si preferisce misurare la profondità col *profondimetro* piuttosto che ricavarla a partire da misure di inclinazione. Esistono bussole speciali per subacquei, di facile lettura. Le distanze saranno misurate con la solita fettuccia metrica o, con meno rischi di ingarbugliamento, facendo nodi sulla sagola. Per trascrivere i dati si userà un quadernetto in plastica speciale con l'apposito gessetto grasso: si trovano nei negozi di articoli da sub, e possono servire anche in gallerie ampiamente allagate ma non sommerse.

Sarà meglio rilevare in due: in tre, si solleva solo più fango. Da soli, ci si riduce sempre a una valutazione sommaria. Sarà però uno solo dei rilevatori a disegnare e a prendere le misure, mentre l'altro farà da caposaldo luminoso. Occorre un notevole affiatamento, perché non è possibile comunicarsi niente a voce.

Il rilievo subacqueo richiede la capacità, non molto comune, di eseguire con rapidità un lavoro complesso pur mantenendo la calma più assoluta.

20→21	10.87	−4.40	141
21→22	16.64	+9.20	248

Figura 22. Esempio di un foglio di quaderno di campagna

Elaborazione matematica dei dati della poligonale

Ritornati a casa, il primo lavoro da effettuare è quello di riordinare i dati raccolti. Si controllerà pertanto che tutte le pagine del quadernetto siano asciutte e in buono stato e si comincerà a trascrivere le misure della poligonale, riordinandole a partire dall'ingresso della grotta (o dal caposaldo più vicino all'ingresso, se il rilievo è parziale), anche a costo di rovesciare la numerazione dei capisaldi. Si elencheranno tutti i lati della poligonale principale e poi quelli dei rami secondari, indicando da quale caposaldo si distacchino.

Si segneranno per ciascun lato il numero del caposaldo iniziale e di quello finale e i valori delle tre grandezze misurate. Tutte le misure dovranno essere convertite nel senso dall'ingresso al fondo (ossia se un lato di poligonale è stato misurato dal fondo verso l'ingresso, occorrerà cambiare il segno alla misura di pendenza e aggiungere o sottrarre 180° alla misura della direzione).

Vi è un metodo grafico (vedi più avanti) che consente di riportare la poligonale in carta senza bisogno di elaborare ulteriormente i dati. Tuttavia è un sistema che porta a errori anche consistenti e va bandito, salvo che per poligonali con pochissimi capisaldi.

Il metodo più preciso e conveniente consiste nel convertire le coordinate polari, in cui sono state eseguite le misure, in coordinate cartesiane di un caposaldo rispetto al precedente; quindi la sommatoria delle coordinate dei vari capisaldi darà le coordinate di ciascuno rispetto a quello iniziale. Questo sistema minimizza gli errori e si presta a essere facilmente ricontrollato, se dovessero sorgere dei dubbi (vedi Tavola 1).

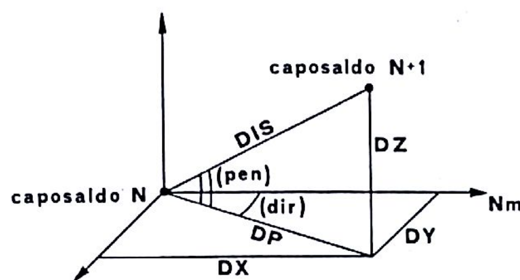
Si costruisce così una tabella (vedi Tavola 2) che riporta per ciascun lato, su varie colonne, oltre ai dati misurati, anche quelli calcolati in base alle classiche formule di trasformazione:

$$\text{DP} = \text{DIS} \cdot \cos(\text{PEN})$$
$$\text{DZ} = \text{DIS} \cdot \text{sen}(\text{PEN})$$
$$\text{DX} = \text{DP} \cdot \cos(\text{DIR})$$
$$\text{DY} = \text{DP} \cdot \text{sen}(\text{DIR})$$

dove DIS = misura di lunghezza; (PEN) = misura di pendenza; (DIR) = misura di direzione; DP = distanza planimetrica; DZ = spostamento lungo l'asse Z; DX = spostamento lungo l'asse X; DY = spostamento lungo l'asse Y.

La sommatoria di DP dal primo all'n-esimo caposaldo fornisce la distanza planimetrica D di questo dall'ingresso e si usa nel tracciamento della sezione longitudinale; le sommatorie di DZ, DX e DY forniscono rispettivamente le coordinate cartesiane profondità (Z),

Tavola 1 - Calcoli della poligonale



DP = DIS cos (PEN)
DZ = DIS sen (PEN)
DX = DP cos (DIR)
DY = DP sen (DIR)

NB Le misure di direzione (DIR) sono *positive* in *senso orario.* Quasi tutte le bussole rispettano questa convenzione. Se però si possiede una bussola antioraria, per mantenere invariate le formule occorre cambiare l'*Est* con l'*Ovest.*

Le grandezze *misurate* si scrivono con *tre* lettere (gli angoli si mettono tra parentesi); le grandezze *derivate* si scrivono con *due* lettere. Le coordinate *rispetto all'origine del rilievo* (ottenute tramite *sommatoria*) si scrivono con *una* lettera.

Esempio: per il caposaldo N-esimo:

$$X = \sum_{i=1}^{N} DX_i; \quad Y = \sum_{i=1}^{N} DY_i; \quad Z = \sum_{i=1}^{N} DZ_i; \quad D = \sum_{i=1}^{N} DP_i$$

Tavola 2 - Tabella dei dati. Esempio pratico

N-N+1	DIS	(PEN)	(DIR)	DZ	DP	DX	DY	Z	D	X	Y
1-2	6.30	— 41.20	332	— 4.10	4.73	4.18	— 2.22	— 4.16	4.73	4.18	— 2.22
2-3	14.20	— 44.30	241	— 9.95	10.13	— 5.18	— 9.35	— 14.11	14.86	— 1.00	— 11.57
3-4	12.90	— 34.00	252	— 7.21	10.69	— 3.30	— 10.17	— 21.32	25.55	— 4.30	— 21.74
4-5	12.40	— 39.40	200	— 7.91	9.54	— 8.97	— 3.26	— 29.23	35.09	— 13.27	— 25.00
5-6	2.90	+ 24.20	276	1.19	2.64	0.28	— 2.63	— 28.04	37.73	— 12.99	— 27.63
6-7	7.20	0.00	223	0.00	7.20	— 5.27	— 4.91	— 28.04	44.93	— 18.26	— 32.54
7-8	3.70	— 23.40	216	— 1.49	3.39	— 2.74	— 1.99	— 29.53	48.32	— 21.00	— 34.53
8-9	14.60	— 25.10	149	— 7.12	12.75	— 10.92	6.56	— 36.65	61.07	— 31.92	— 27.97
9-10	7.10	— 39.00	167	— 4.47	5.52	— 5.30	1.24	— 41.12	66.59	— 37.30	— 26.73

NB Z, D, X, Y si riferiscono al caposaldo N + 1.

spostamento a Nord (X) e spostamento a Est (Y) del caposaldo n-esimo rispetto all'origine.[3]

Una volta i calcoli venivano sviluppati solo a forza di regolo e tavole dei logaritmi, poi per pochi fortunati si è aperto l'uso del calcolatore; oggi moltissimi possiedono un mini-calcolatorino scientifico, che semplifica considerevolmente il problema ed elimina in gran parte la possibilità di errori. Nella Tavola 3 sono riportati i programmi di calcolo per due fra i calcolatorini più noti.

[3] In topografia, per convenzione internazionale, gli assi X e Y sono scambiati, rispetto all'uso della geometria analitica, e gli angoli crescono in senso *orario.*

Tavola 3 - Programmi di conversione dei dati della poligonale per calcolatorino

	Texas Instruments TI SR/50	Hewlett-Packard HP-35
1)	CLEAR	CLEAR
2)	scrivi DIS	scrivi DIS
3)	x	ENTER
4)	scrivi (PEN)	scrivi (PEN)
5)	STO	STO
6)	SEN	SEN
7)	=	x
8)	leggi DZ	leggi DZ
9)	x	ENTER
10)	RCL	RCL
11)	TAN	TAN
12)	=	x
13)	leggi DP	leggi DP
14)	x	ENTER
15)	scrivi (DIR)	scrivi (DIR)
16)	STO	STO
17)	COS	COS
18)	=	x
19)	leggi DX	leggi DX
20)	x	ENTER
21)	RCL	RCL
22)	TAN	TAN
23)	=	x
24)	leggi DY	leggi DY

NOTE

1. Esprimere gli angoli in gradi sessagesimali, convertendo eventuali frazioni o primi in decimi e centesimi di grado.
2. Se (PEN) = 0°, saltare le istruzioni da 3) a 12) incluse (sarà DZ = 0).
3. Se (DIR) = 0° oppure 180°, saltare le istruzioni da 14) a 24) [sarà DY = 0 e DX = DP se (DIR) = 0° oppure DX = —DP se (DIR) = 180°].
4. Programmi più completi sono certamente possibili, ma meno compatti di quelli esposti.
5. Calcolatori più perfezionati semplificano i calcoli, particolarmente quelli che hanno la conversione diretta da coordinate polari a cartesiane. La conversione andrà eseguita due volte [prima da DIS e (PEN) a DP e DZ, poi da DP e (DIR) a DY e DX].

Qualora si sia eseguita una poligonale chiusa, le coordinate in chiusura non coincideranno mai esattamente. Questo fornisce un'ottima stima dell'esattezza delle misure, ma pone altresì il problema di correggere la poligonale per eliminare la discrepanza dei dati.

Si suppone che l'errore sia distribuito su tutti i lati interessati, proporzionalmente alla grandezza di ciascuno (separatamente per ciascuna coordinata). Per esempio, si veda la Tavola 4.

Tavola 4 - Esempio di correzione di poligonale chiusa

Supponiamo di chiudere una poligonale di quattro lati (per semplicità espositiva, lavoriamo solo sulla pianta; per la profondità si procede allo stesso modo).

N-N+1	DIS	(DIR)	DX	DY	X	Y
1-2	7.30	64	3.20	6.56	3.20	6.56
2-3	5.20	161	— 4.92	1.69	— 1.72	8.25
3-4	4.80	223	— 3.51	— 3.27	— 5.23	4.98
4-5(=1)	8.60	319	6.49	— 5.64	1.26	— 0.66

Dunque gli errori sono +1.26 m sulla X e —0.66 m sulla Y. Si calcola la somma delle distanze misurate reali:

$$L = \sum_{i=1}^{4} |DIS|_i = 25.90 \text{ m}$$

e si procede alla compensazione dell'errore ripartendolo su tutti i lati, proporzionalmente alla lunghezza di ciascuno:

$$DX' = DX - DIS \frac{\Delta X}{L} \quad \text{e} \quad DY' = DY - DIS \frac{\Delta Y}{L}$$

infatti, sommando per ogni lato, si ottiene:

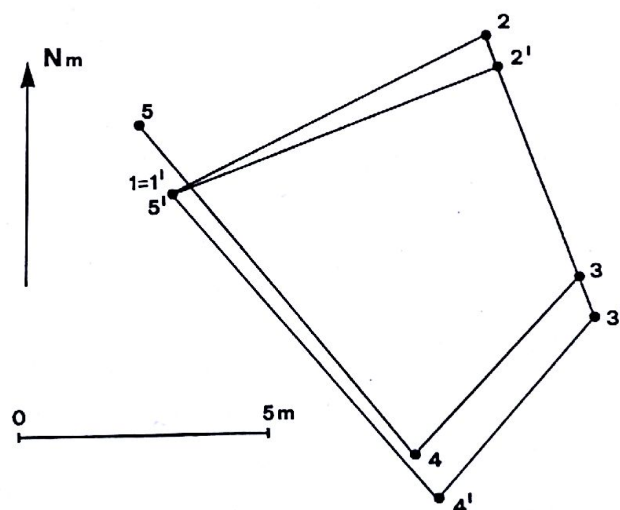
$$\sum_{i=1}^{4} DX'_i = \sum_{i=1}^{4} DX_i - \sum_{i=1}^{4} DIS_i \frac{\Delta X}{L}, \quad \text{ossia:} \quad X'_5 = X_5 - \Delta X;$$

analogamente si procede per la Y.

La nuova tabella è quindi

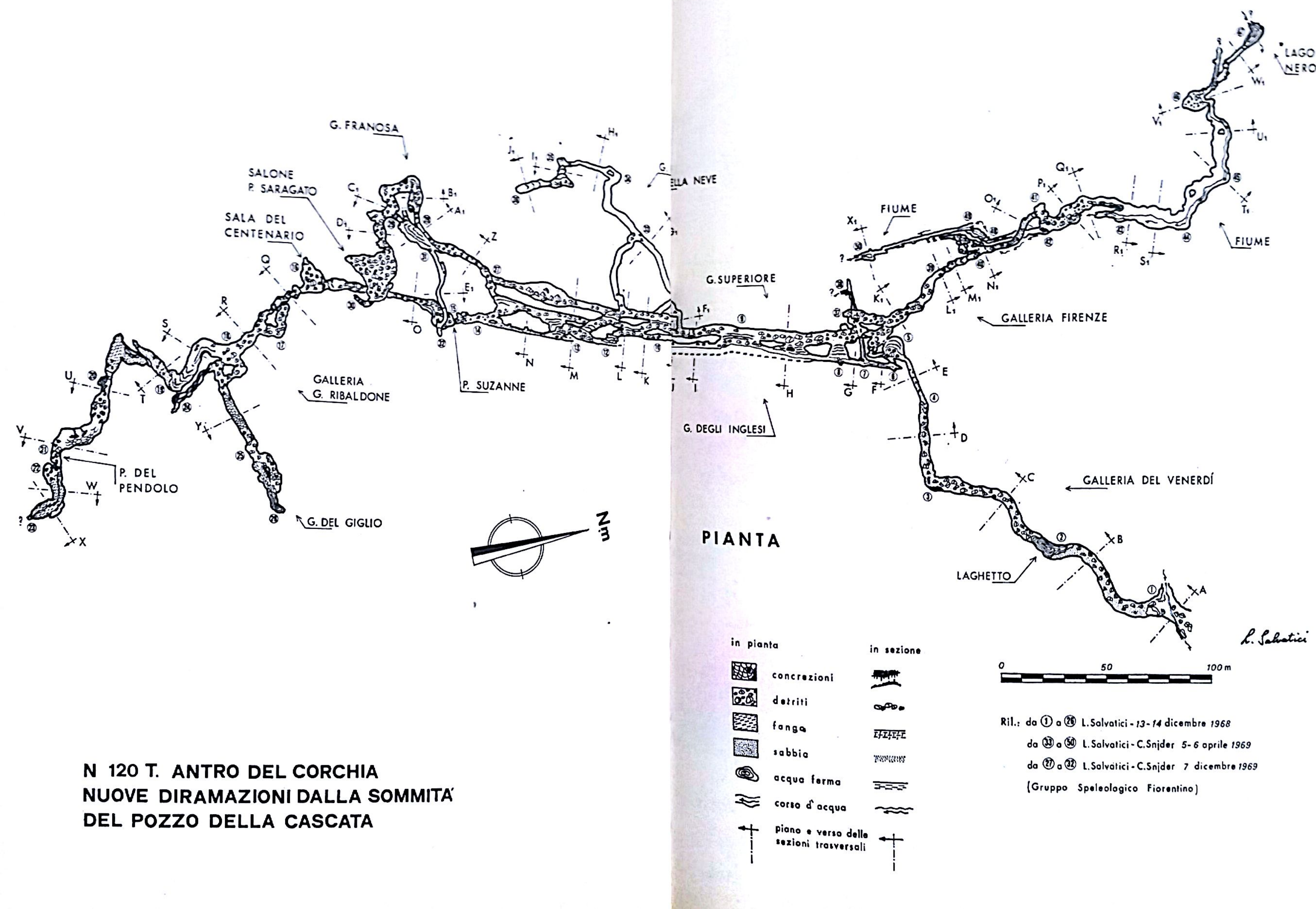
N-N+1	DX'	DY'	X'	Y'
1-2	2.84	6.75	2.84	6.75
2-3	— 5.17	1.82	— 2.33	8.57
3-4	— 3.74	— 3.15	— 6.07	5.42
4-5	6.07	— 5.42	0.00	0.00

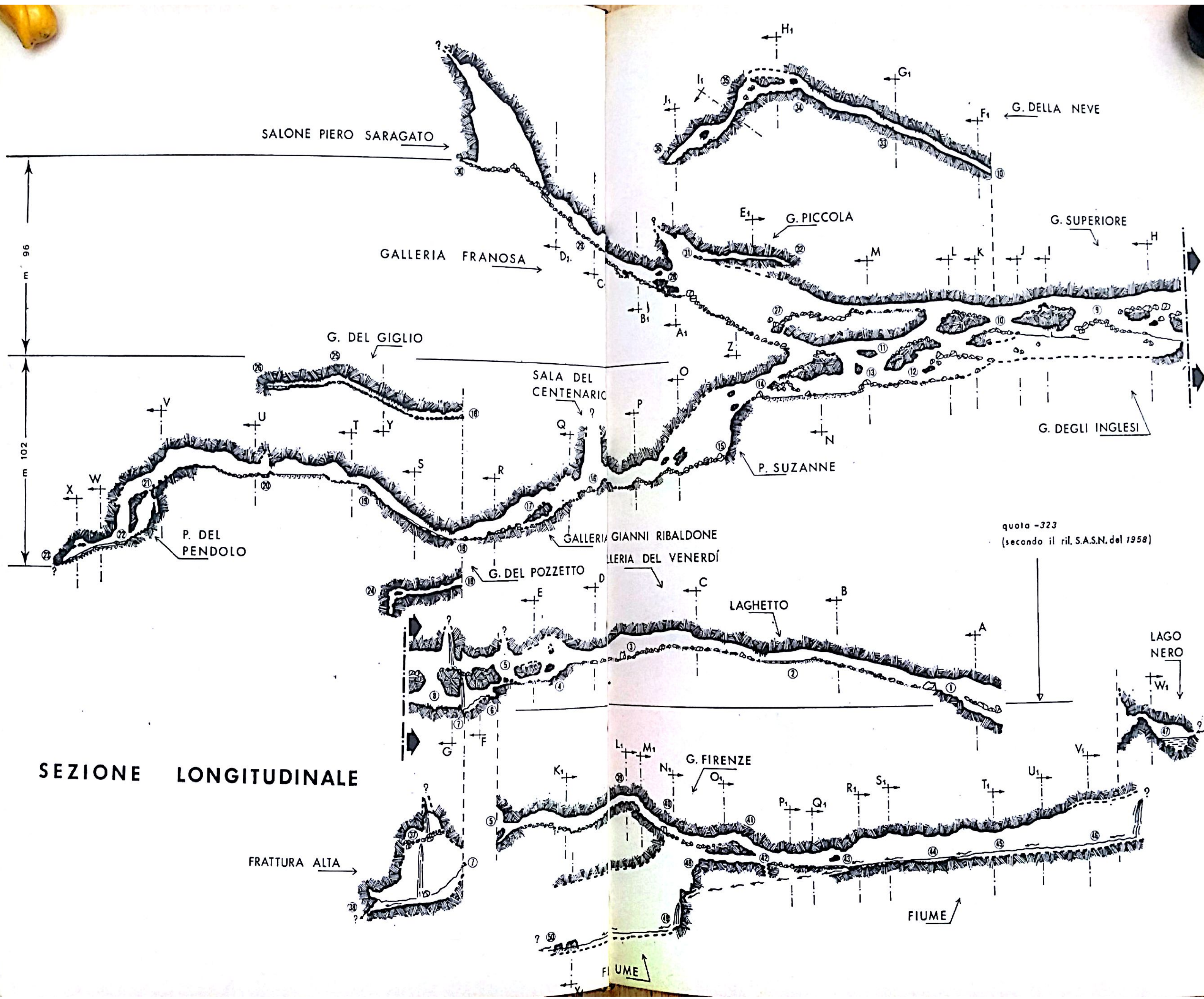
Ecco la rappresentazione grafica delle correzioni riportate



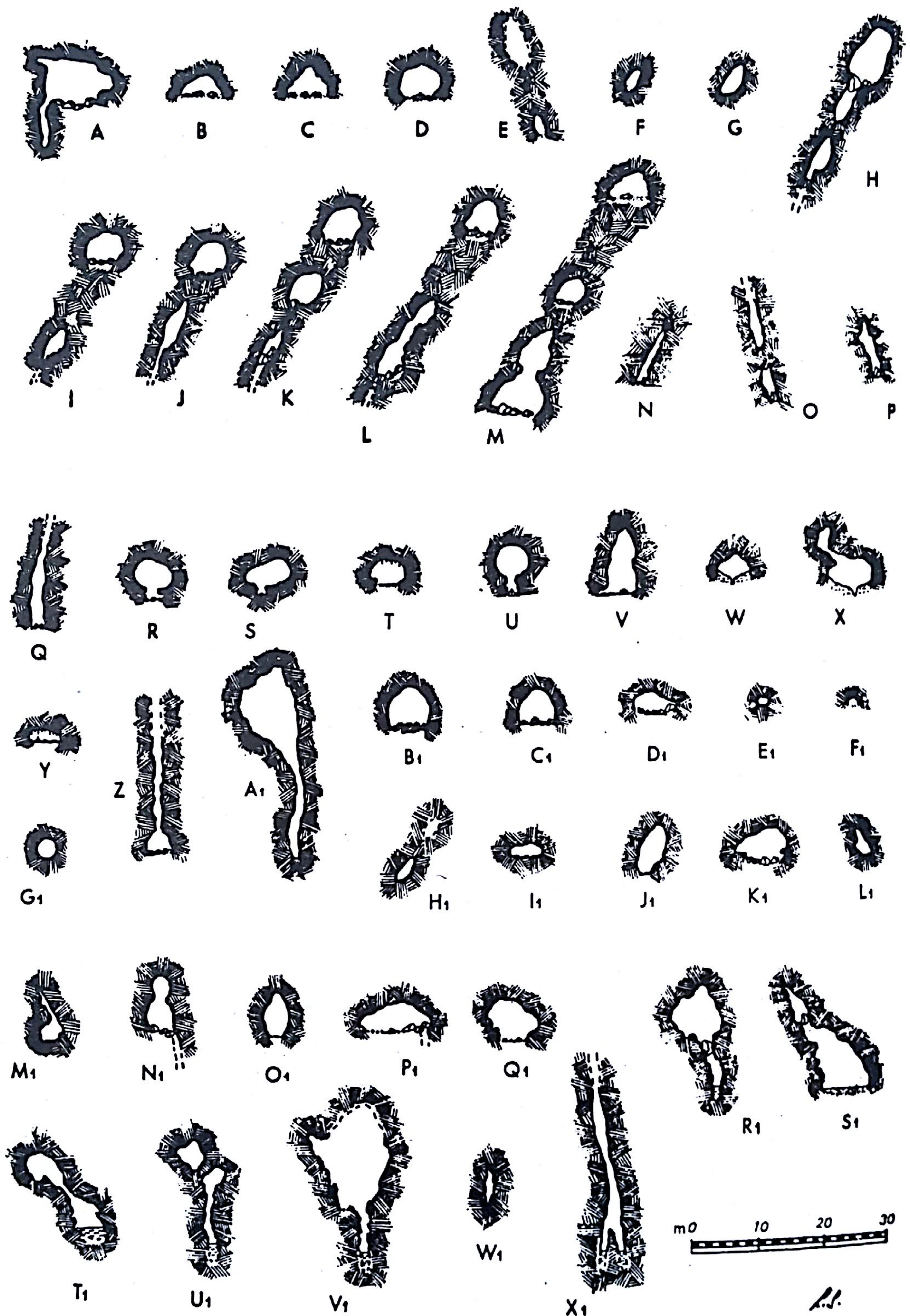
NB Se vi sono più poligonali chiuse collegate, si deve ricorrere al metodo dei « minimi quadrati » (Cfr. « Bibliografia » alla fine del capitolo).

Scanned by CamScanner


Estratto dal notiziario n.1-2 1970
della sezione fiorentina del C.A.I.
G. FRANOSA
SALONE
P. SARAGATO
SALA DEL
CENTENARIO
GALLERIA
G. RIBALDONE
P. SUZANNE
P. DEL
PENDOLO
G. DEL GIGLIO
LA NEVE
G. SUPERIORE
G. DEGLI INGLESI
FIUME
GALLERIA FIRENZE
LAGO
NERO
GALLERIA DEL VENERDÍ
LAGHETTO
PIANTA
in pianta
in sezione
concrezioni
detriti
fango
sabbia
acqua ferma
corso d'acqua
piano e verso delle sezioni trasversali
0
50
100 m
Ril.: da ① a ㉑ L. Salvatici - 13-14 dicembre 1968
da ㉝ a ㊿ L. Salvatici - C. Snjder 5-6 aprile 1969
da ㉗ a ㉜ L. Salvatici - C. Snjder 7 dicembre 1969
(Gruppo Speleologico Fiorentino)
L. Salvatici
N 120 T. ANTRO DEL CORCHIA
NUOVE DIRAMAZIONI DALLA SOMMITA'
DEL POZZO DELLA CASCATA


SALONE PIERO SARAGATO
GALLERIA FRANOSA
G. DELLA NEVE
G. PICCOLA
G. SUPERIORE
G. DEL GIGLIO
SALA DEL CENTENARIO
G. DEGLI INGLESI
P. SUZANNE
P. DEL PENDOLO
GALLERIA GIANNI RIBALDONE
GALLERIA DEL VENERDÍ
G. DEL POZZETTO
quota -323 (secondo il ril. S.A.S.N. del 1958)
LAGHETTO
LAGO NERO
SEZIONE LONGITUDINALE
G. FIRENZE
FRATTURA ALTA
FIUME
FIUME
m 96
m 102

SEZIONI TRASVERSALI



Tracciamento della poligonale

Col *metodo grafico* si esegue sempre prima la sezione longitudinale. Occorrono righello e goniometro. Segnato il punto corrispondente al caposaldo iniziale, si prende col goniometro l'inclinazione del primo lato, si appoggia il righello in corrispondenza e si segna il secondo caposaldo alla distanza che gli compete nella scala di lavoro. Si procede via via fino all'esaurimento dei caposaldi. La proiezione sull'orizzontale dei segmenti così ricavati non è che la distanza planimetrica DP; pertanto la pianta si costruisce tracciando un segmento di pari lunghezza orientato col goniometro secondo la direzione misurata (DIR).

Questo metodo ha, come già detto, il grosso svantaggio che gli errori commessi nel disegno per ciascun lato si riportano integralmente sui successivi. Il calcolo delle coordinate cartesiane elimina invece questa fonte di errori, in quanto ciascun caposaldo viene riportato in base alle sue coordinate, senza dipendere dalla posizione dei precedenti.

Conviene utilizzare uno o più fogli di carta millimetrata, in ragione delle dimensioni del rilievo.

In sezione longitudinale, si riporta ogni caposaldo a un punto avente in ordinata il *dislivello* del caposaldo rispetto all'origine e in ascissa la distanza planimetrica.

In pianta, il punto rappresentativo ha sull'asse Y lo spostamento verso Est e sull'asse X lo spostamento verso Nord. Conviene sempre tracciare uno dopo l'altro sulla carta i segmenti che corrispondono a ciascun lato di poligonale, per evitare di smarrire l'ordine dei caposaldi riportati.

In sezione longitudinale, quando la grotta si retroverte o quasi, può talvolta convenire di far « tornare indietro » la poligonale per « rendere » meglio l'andamento. L'esperienza e l'abilità del disegnatore sono l'unica guida per valutare la convenienza e l'efficacia di questo artificio.

Esecuzione del disegno

Successivamente al tracciamento della poligonale, si costruisce tutt'attorno il disegno vero e proprio, basandosi sugli schizzi presi in grotta e sulle misure fatte. Ci si accorgerà, probabilmente, che la struttura di alcuni vani è stata riportata in modo non soddisfacente. Dovrà supplire la memoria: cosa questa che impone di restituire il rilievo finché i ricordi sono ancora freschi. Se possibile, si farà una copia del disegno in minuta e si ritornerà in grotta a correggerlo.

Il disegnatore dovrà rispettare due esigenze fondamentali: « restituire » la grotta come è, senza inventare o deformare, e al tempo

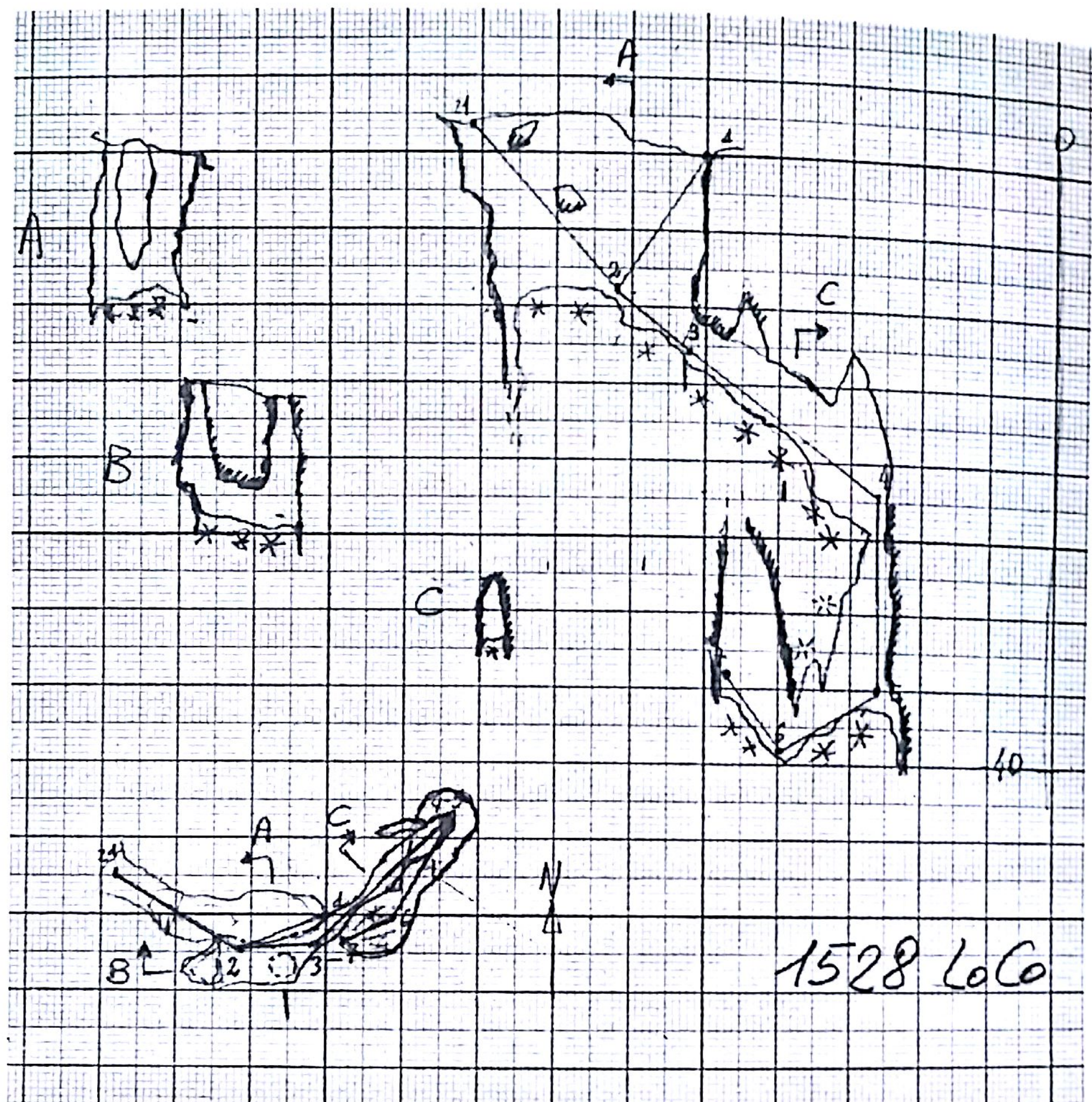


Figura 23. Esempio di rilievo restituito (minuta)

stesso « renderla » plasticamente, in modo che l'osservatore comprenda a colpo d'occhio forma e disposizione dei vani. Occorrono un po' di pratica e una mano felice; l'osservazione critica di molti rilievi altrui consente di migliorare i propri risultati.

Nel disegno i dettagli saranno prevalentemente rappresentati con simboli convenzionali (vedi ancora figura 14). Spesso è preferibile segnarli a lato del disegno, piuttosto che farne un guazzabuglio. In caso di rilievi a fini speciali (morfologico, idrologico, geologico, biologico, meteorologico ecc.) il rilevatore metterà in debita evidenza le particolarità che lo interessano.

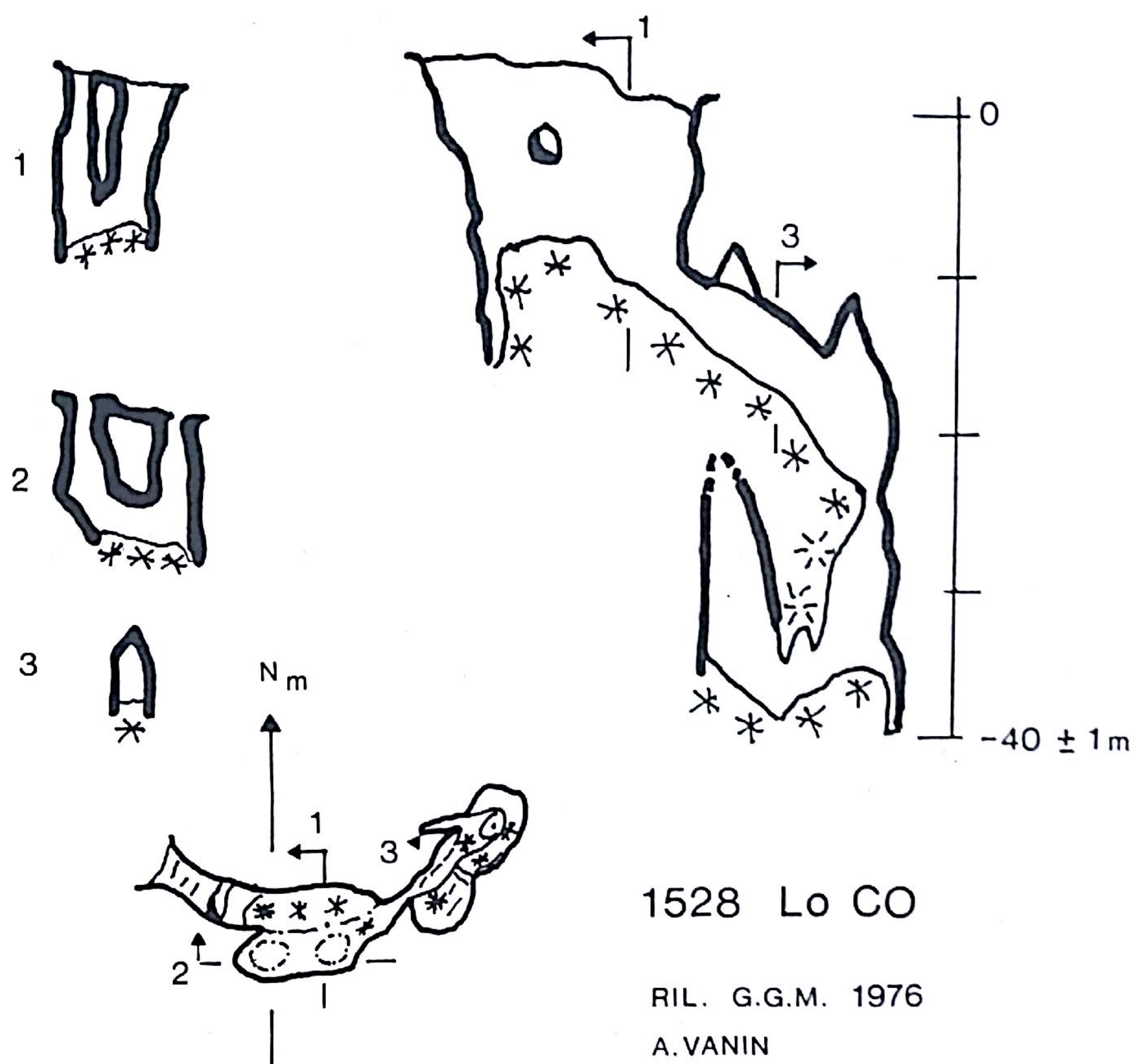


Figura 24. Esempio di rilievo restituito (bella copia)

Messa in bella

Il rilievo deve essere riprodotto in molte copie, spesso anche a stampa. Pertanto non è possibile affidarsi al solo disegno su carta millimetrata, pur se preciso e pulito: bisogna riportarlo a china su carta lucida. Lo spessore dei tratti, la grandezza e spaziatura delle lettere, devono essere tali da consentire la riproduzione in scala ridotta. Il formato del foglio dovrà essere di tipo unificato (UNI A0, A1, A2 ecc.). Quest'ultima esigenza, importante per la riproduzione, fa spesso a pugni con la forma delle grotte da rappresentare ma, salvo casi eccezionali, è meglio attenervisi.

Sarà bene studiare preventivamente la disposizione sul foglio delle varie parti del rilievo, in modo armonico e tale da facilitare

la lettura e la comprensione. Pianta e sezione dovranno correre nello stesso senso. Le sezioni trasversali possono essere raggruppate assieme, oppure sparpagliate lungo la rappresentazione delle gallerie cui sono pertinenti.

I rami laterali che devono essere disegnati staccati dal corpo principale vanno ricollegati in modo inequivocabile al punto da cui si dipartono. Talvolta è opportuno disegnare un quadro schematico di collegamento fra le varie parti del disegno.

La poligonale non si traccia mai, salvo motivi particolari; a volte si segnano i caposaldi principali, tuttavia solo per rilievi di precisione e qualora siano stati materializzati sul terreno in modo permanente.

Le diciture si riportano di preferenza con caratteri trasferibili piuttosto che col normografo, evitando sempre le scritte a mano libera.

Il rilievo dovrà riportare una serie di informazioni indispensabili: scala grafica; orientazione al Nord della pianta (specificando se geografico o magnetico); indicazione della verticale nelle sezioni; anno del rilevamento; nomi dei rilevatori (si intendono di solito quelli che hanno preso le misure e fatti i disegni) e Gruppi speleologici di appartenenza; riferimenti fra rami laterali o sovrapposti disegnati a parte; traccia, su pianta e sezione longitudinale, delle sezioni trasversali, con indicazione del senso di vista; numerazione delle stesse; indicazione della precisione (valutata) con cui il rilievo è stato eseguito. Questa valutazione può essere convenientemente fornita riportando la marca e il tipo di ogni strumento usato (bussola, clinometro ecc.).

In Gran Bretagna la British Caving Research Association ha sviluppato una classificazione dei rilievi in base alla strumentazione adoperata e alla relativa accuratezza. Il sistema è ottimo, tuttavia appare in genere troppo macchinoso e pertanto di difficile diffusione come hanno messo in rilievo alcune critiche.

Rappresentazioni tridimensionali

Rappresentare la grotta nelle tre dimensioni è sempre stata la massima, frustrata aspirazione di ogni rilevatore. Alcuni hanno tentato di costruire un « plastico » della grotta con uno scheletro in fil di ferro e una sagoma in plastilina o altro materiale adatto. Il metodo è molto laborioso e il risultato non può essere riprodotto o facilmente trasportato; inoltre risulta impossibile dare l'idea di cosa ci sia dentro il vano della grotta.

Un altro metodo consiste nel rappresentare la grotta in proiezione assonometrica. Questa è riproducibile, rende bene l'idea del com-

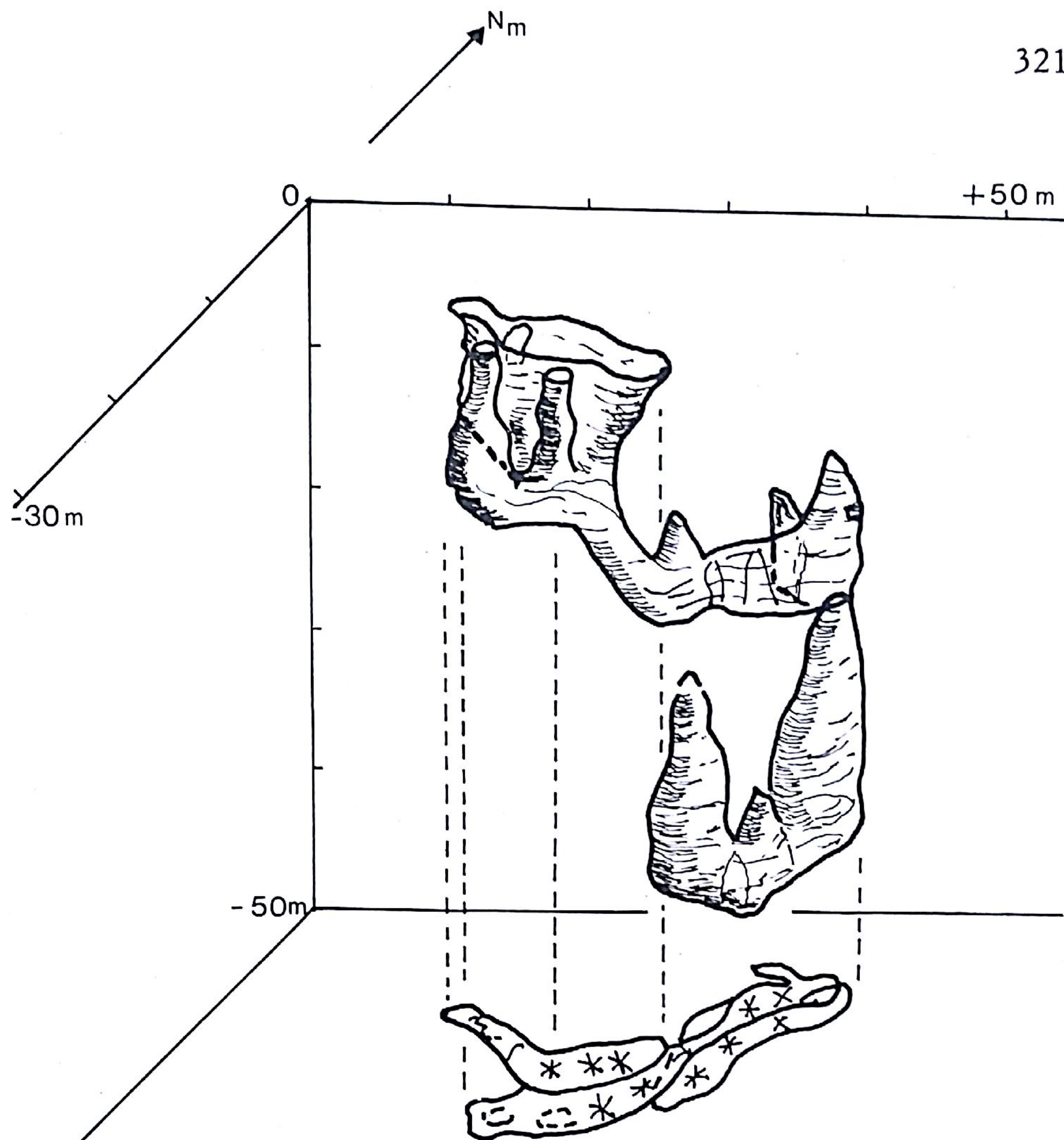


Figura 25. Proiezione assonometrica di una grotta (cfr. figura 24)

plesso dei vani (anche se meno bene del plastico) e, pur essendo più complessa da eseguire di un rilievo tradizionale, non richiede mezzi particolari. Tuttavia anch'essa illustra solo il profilo esterno della grotta. La si deve considerare una rappresentazione complementare, simpatica certamente, ma che non può sostituirsi al rilievo tradizionale.

BUCONE DI TREMEZZO 2223 Lo
RIPARO PRESSO IL BUCONE DI TREMEZZO Mb
BUCO DELLA SCODELLA 2224 Lo
BUCO DELLA FINESTRA 2177 Lo

Rilievo : G. CAPPA - 19 • GRUPPO GROTTE MILANO

0 50 m

sezioni

2177 Lo
2224 Lo
Mb
2223 Lo
riparo

grandi stalattiti
ingresso dall'atrio
labirinto
q 478

RAMO LATERALE

pianta

RAMO PRINCIPE

GALLERIA della SABBIA
sorgente
grande colata stalagmitica
laghetto
SALA degli SCAVI
concrezioni pisolitiche
sentiero d'accesso
stillicidio
vaschette
lago concrez.
2223 Lo
ATRIO
SALA delle STALATTITI
labirinto
RAMO LATERALE
GALLERIA PIANA
soglia termica e della luce diurna
frana
SALA del FANGO
sala con stalattiti
deposito fossile
SALA dei grandi MASSI
2° LAMINATOIO SUP.
1° LAMINATOIO INF.
3° LAMINATOIO
colonna
SALA del POZZETTO
vaschette concrez. e stal. tubolari
cunicolo dei suoni misteriosi
saletta terminale con plastico ricoperto da concrezione
pavimento con crostone stalagmitico inglobante stal. tubolari rotte
nicchia e galleria con stalattiti tubolari
GRANDE GALLERIA INFERIORE
stal. tubolari
colonne
il Colon
laghetto con guano
(frana)
sabbia
SALA delle STALAGMITI
RAMO INFERIORE
GALLERIE NUOVE (1966)
pozza

BIBLIOGRAFIA

Per quanto concerne i segni convenzionali, si ricorda che è in vendita la pubblicazione *Signes spéléologiques conventionnels* (1978) della Sottocommissione dei segni convenzionali dell'Union Internationale de Spéléologie. La pubblicazione è disponibile presso CERGA, BP 5060, F-34033 Montpellier Cédex, Francia.

AGOSTINI A., 1961. *Topografia*, vol. I, Hoepli, Milano

BINI A., CAPPA G., 1974. *Proposte di ammodernamento della simbologia per rilievi di cavità naturali sotterranee*, « Boll. Ass. Ital. di Cartografia » n. 31, pp. 97-108

BINI A., CAPPA G., 1974. *Proposte di simbologia per carte morfologiche ed idrologiche di aree carsiche a grandissima scala*, « Boll. Ass. Ital. di Cartografia » n. 32, pp. 179-199

BUTCHER A.L., *Cave Survey*, Cave Research Group of Great Britain, Publication n. 3

CASTELLANI V., 1975. *Appunti di topografia sotterranea*, Suppl. Memorie Speleo Club Chieti, Guida didattica n. 1, pp. 5-16

CECIONI E., 1965. *Uso della carta topografica. Orientamento, aerofotografie*, IGM, Firenze

COURBON P., MARBACH G., CREAC'H Y., 1972. *Techniques topographiques*, in « Spelunca » FFS, 12 (2) IV serie, pp. 34-50

DEMATTEIS G., 1959. *Speleologia esplorativa e tecnica*, « Riv. Speleol. It. », Guide didattiche, vol. III, Como, pp. 46-61

DRESSLER B., 1966. *Topographie par fil perdu*, in « Spelunca » FFS, 6 (1), pp. 53-55

ELLIS B., 1976. *Surveying Caves*, The British Cave Research Association, Bridgewater

GRIMANDI P., 1966. *Signes conventionnels* UIS, « Sottoterra » GSB-CAI 5 (15), pp. 19-24

GRUPPO GROTTE MILANO CAI-SEM, 1972, *Guida ai corsi di speleologia*, Ed. CAI, Milano, pp. 128-144

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE, 1959. *Carta Magnetica d'Italia* 1 : 2.000.000, Firenze

LALOU J.C., DUDAN B., 1975. *Cours de Topographie*, Soc. Suisse de Spéléologie

RENAULT P., 1964. *Conseils pour l'exécution des plans de grottes*, in « Spéléo Dordogne » 4 (13), pp. 3-16

RONDINA G., 1958. *Iconografia speleologica*, « Riv. Speleol. It. », Guide didattiche, vol. II, Como

SCHMIDT V.A., SCHELLENG J.H., 1970. *The application of the method of least squares to the closing of multiply-connected loops in cave or geological surveys*, « Bull. Nat. Speleol. Soc. » 32 (3), pp. 51-58

VISMARA P., 1972. *Sull'utilizzo degli elaboratori elettronici nella speleologia*, Atti XI Congr. Naz. Speleol. Genova, tomo II, pp. 203-220

UIS (TRIMMEL H., AUDETAT M.), 1966. *Signes conventionnels à l'usage des spéléologues* SSS « Stalactite » 16, 3, pp. 71-125